



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

55
Zejeu
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DISEÑO DE UNA RED DE COMUNICACIONES VIA
SATELITE CON ACCESO TDMA DE DATOS PARA
AGENCIAS DE VIAJES

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A N :
JUAN CARLOS CUENCA HERNANDEZ
JUAN CARLOS GUZMAN ROJAS
PATRICIA HONG CIRION
LAURA INES PALMA RODRIGUEZ
MARIA MONICA SALAZAR ORTEGA

DIRECTOR DE TESIS:

M. I. JUAN CARLOS ROA BEIZA



MEXICO, D. F.

1995

FALLA DE ORIGEN

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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.

AGRADECIMIENTOS



AGRADECIMIENTOS

Si existe alguien a quien pueda amar y agradecer profundamente, es a mis PADRES, mismos a quienes DEDICO y DEBO todo lo que soy. Pues ellos son y seguirán siendo, la principal fuente de impulso y motivación necesarios para la culminación de cualquier empresa que pueda intentar y lograr obtener.

A mi PADRE, Agustín Cuenca, que siempre arduamente trabajando, nunca se olvidó de prestar su valiosa ayuda, para que lograra salir adelante.

A mi MADRE, María Hernández, quien afanosamente se empeñó en llevarme a la escuela por primera vez, y logró con su grandioso ejemplo, implantar en mi su fuerte y nata voluntad por trabajar y hacer bien las cosas.

A todos mis HERMANOS con cariño.

A mi ESPOSA, Raquel, quien ha sido mi aliento y apoyo en todo momento, y que siempre ha creído en mí.

A mi HIJO, Miguel Angel, quien es fuente de inspiración inagotable en mi vida, y que me impulsa a dar lo mejor de mí.

A mis COMPAÑERAS de TESIS, por su paciencia sin igual.

JUAN CARLOS CUENCA HERNANDEZ.

A mi madre en primer lugar, pues me ha dado mucho más de lo que alguna vez yo pueda darle a ella. Gracias por su ejemplo, paciencia, comprensión, y cariño de todos los días.

A todos mis amigas y amigos que en todo momento me apoyaron, alentaron y soportaron mis "ataques de histeria", y a quienes no voy a mencionar de uno por uno, pues ellos saben quienes son, y lo que para mí representan. Gracias a todos por lo que han sido, no sólo durante el tiempo de la realización de este trabajo, sino siempre.

En general gracias a todos los que de alguna manera han puesto su granito de arena para influir en mí para continuar con mi superación, y no olvidarme que no se debe claudicar.

A mi familia, la de aquí, y la que está "cruzando el charco".

Gracias a todos los que me prestaron libros, a mis compañeros de tesis, en especial Laura, a todos mis maestros que colaboraron en mi formación, particularmente a nuestro asesor que nos brindó su apoyo total, y a la Universidad.

Y a los que lo dudaron, aquí está.

PATRICIA HONG CIRIÓN.

A mis padres, por su gran apoyo, cariño y comprensión, que siempre me han brindado en todo momento. A mi madre en especial, por sus consejos y porque estuvo al pendiente de mí en las largas e incontables noches de desvelo.

A mis hermanos, por ser un gran ejemplo para mí y porque siempre me impulsaron a seguir adelante para que lograra finalizar mi formación académica.

A mis amigos, que siempre estuvieron cerca de mí no sólo para escucharme y soportarme, sino también para alentarme y alegrarme los momentos difíciles de mi vida.

A todas aquellas personas que amablemente me proporcionaron información y compartieron conmigo sus experiencias para hacer posible la realización del presente trabajo.

A todos mis maestros que durante tanto tiempo compartieron conmigo sus sabios conocimientos, y en especial al Ingeniero Juan Carlos Roa, nuestro asesor que con su profesionalismo, paciencia, comprensión y experiencia me ayudó a concluir una de mis más grandes metas, mi tesis.

Y a todos aquellos incrédulos.

LAURA PALMA RODRIGUEZ.

A mi madre:

A mi mamá adorada a quien le debo toda mi carrera, y que aún con la pérdida de mi querido padre, supo con su sacrificio y ejemplo llevarnos por el buen camino.

A mi esposo Alejandro y mi hijo Alex:

Que aún en los tiempos difíciles por los que hemos pasado, han sabido comprenderme y ayudarme en todo momento para llevar a cabo este trabajo tan importante para mí.

A mis queridos hermanos:

Carmelita, Rosita, Víctor y José Luis que me han apoyado con la ayuda de Dios desde los inicios de mi carrera hasta este gran momento. Un especial agradecimiento a los papás de mi esposo y a mi tía Jose por su apoyo desinteresado.

Finalmente gracias a nuestro asesor, el M. en Ing. Juan Carlos Roa Beiza, quien nos guió en la realización de este trabajo.

MONICA SALAZAR ORTEGA.

I N D I C E

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Aspectos Históricos de las Agencias de Viajes	3
1.3 Aspectos Históricos del Sistema de Tele-reservaciones	12
1.3.1 Servicios que proporciona el Sistema de Tele-reservaciones	16
1.4 Problemática Actual	18
1.5 Aspectos Teóricos de la Conmutación de Paquetes	21
2. ANALISIS Y EVALUACION DE LA RED ACTUAL	22
2.1 Estructura de la Red Actual	22
2.1.1 Red INFONET	22
2.1.2 Red TELEPAC	24
2.1.3 Red IUSANET	24
2.2 Topología de la Red	27
2.2.1 Topología de la red INFONET	27
2.2.2 Topología de la red TELEPAC	32
2.2.3 Topología de la red IUSANET	33
2.3 Medio de Transmisión de la Red	35
2.3.1 Medio de Transmisión de la Red INFONET	35
2.3.2 Medio de Transmisión de la Red TELEPAC	36
2.3.3 Medio de Transmisión de la Red IUSANET	37
2.4 Protocolos de la Red	39
2.5 Hardware de la Red	41
2.5.1 Hardware de la Red INFONET	41
2.5.2 Hardware de la Red TELEPAC	41
2.5.3 Hardware de la Red IUSANET	42
2.6 Cobertura de la Red	44
2.6.1 Cobertura de la Red INFONET	44
2.6.2 Cobertura de la Red TELEPAC	44
2.6.3 Cobertura de la Red IUSANET	46
2.7 Acceso a la Red	48
2.7.1 Acceso a la Red INFONET	52
2.7.2 Acceso a la Red TELEPAC	52
2.7.3 Acceso a la Red IUSANET	54
2.8 Demanda del Servicio de Reservaciones a Nivel Nacional	55
2.9 Ventajas y Desventajas de la Red Actual	58
2.9.1 Ventajas	58
2.9.2 Desventajas	59

3. REQUERIMIENTOS DE LA RED	62
3.1 Tipo de Red	64
3.2 Medio de Transmisión	65
3.3 Tráfico de la Red	67
3.4 Tiempos de Conexión	68
3.5 Número de Conexiones	71
3.6 Interfaces	73
3.7 Tiempos de Transmisión	77
3.8 Disponibilidad, Confiabilidad y Error permisible de la red	78
3.9 Control de la Red	79
4. CONFIGURACION DE LA RED	81
4.1 Selección del Medio de Transmisión	83
4.2 Topología de la Red	85
4.2.1 Red Digital de Servicios Integrados (R.D.S.I.)	90
4.3 Elementos que Conforman la Red	100
4.3.1 Segmento Espacial	100
4.3.2 Segmento Terrestre	109
4.4 Dimensionamiento de la Red	118
4.5 Cálculos del Enlace	129
5. TIPOS DE ACCESO A LA RED	
5.1 Componentes de la Red	176
5.1.1 Canal Telefónico	178
5.1.2 Fibra Optica	181
5.1.3 Radio - Enlaces	193
5.2 TDMA . Acceso Múltiple por División de Tiempo	202
5.2.2 Operaciones con TDMA	220
6. ANALISIS Y SELECCION DE EQUIPO	
6.1 Consideraciones de Instalación	251
6.2 Inspección del Sitio para Montaje de Estaciones Terrenas	251
6.2.1 Estudio de Interferencia	252
6.2.2 Levantamiento de Campo	252
6.3 Características de Equipos	262
6.4 Consideraciones Respecto al Equipo para TDMA	297
6.4.1 Descripción Técnica del Equipo SPAR de TDMA Puro	297
6.4.2 Equipo Complementario	297
6.4.2.1 Chasis	298
6.4.2.2 Tarjeta Unica de Control de TDMA	299
6.4.2.3 Tarjeta de Control del CPU	299
6.4.2.4 Tarjeta Lógica de Modem	299
6.4.2.5 Tarjeta Moduladora	299
6.4.2.6 Tarjeta de Grupo de Interfaces	300

INDICE

6.4.2.7 Consola de Operación Local	300
6.4.3 Especificaciones del Sistema	300
6.4.4 Modulador	301
6.4.5 Dimensiones y Pesos	302
6.4.6 Fuentes de Voltaje	303
6.4.6.1 Fuente de Poder del Equipo Común	303
6.4.6.2 Módulo de Fuente de Poder del Chasis de GIB	304
6.4.6.3 Montaje de la Fuente de Poder de 5V de GIB	304
6.4.7 Consola de Operación Local	305
6.4.8 Condiciones de Ambiente	306
6.5 Equipo por Región	306
6.6 Cotizaciones Respecto a Telecomm	308
8.7 Cotización de RDI	314
6.8 Costos Finales	318
6.8.1 Costo Inicial	317
6.8.2 Costo Mensual	317
8.9 Selección del Equipo	318

CONCLUSIONES

APENDICE A

APENDICE B

APENDICE C

APENDICE D

BIBLIOGRAFIA

CAPITULO 1

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

En el pasado, la información se transmitía a través de mensajeros a pie, palomas mensajeras, toques de tambores, señales de humo, etc; siendo estos métodos adecuados para las distancias e índices de datos de la época. Pero en nuestros días, estos esquemas de comunicación han sido desplazados por medios eléctricos, que pueden transmitir señales a través de distancias mucho más largas, y a velocidades considerablemente mayores.

En el contexto moderno, el término de comunicaciones se refiere a transmitir, recibir y procesar información por medios eléctricos. Esto nos lleva a que las telecomunicaciones actuales tienen su origen en la aparición de dos inventos básicamente, uno de ellos el telégrafo de Samuel Morse en el año de 1845, y el otro es el teléfono atribuido a Alexander Graham Bell en el año de 1876; siendo también de gran importancia la incorporación de la radio a principios de este siglo. La comunicación por radio lograda gracias a la invención del triodo, fué muy desarrollada durante la Segunda Guerra Mundial. A raíz de la incorporación de estos inventos, el avance en investigación y tecnología, como sería la aparición y uso de transistores, circuitos integrados y otros dispositivos semiconductores han dado lugar a variedades más veloces, versátiles y confiables de los medios de comunicación, y que hasta nuestros días continua su desarrollo.

La acelerada evolución desde hace dos décadas de los diferentes medios de comunicación tan importantes en la vida cotidiana, hace pensar que la fusión de las

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

comunicaciones, la electrónica, la informática y la telemática serán un factor básico para el nuevo mundo de globalización de las economías.

Dentro de éste marco, las redes de datos asumen un papel determinante, como el medio de transmisión digital, para la prestación de los servicios de valor agregado, los cuales se definen como todos aquellos servicios que permiten a los usuarios tener servicios donde se agregue un valor a la comunicación de datos.

Básicamente el objetivo de las redes en general es la transferencia e intercambio de información sin alteraciones o errores, compartiendo recursos de cómputo y comunicaciones entre puntos geográficamente dispersos.



FIGURA 1.1 Esquema de Comunicaciones Modernas

Actualmente la información que manejan las redes de datos es de los más diversos índoles y variados intereses que se puedan imaginar. Tenemos por ejemplo el caso de las agencias de viajes, en donde se requiere poder conocer en prácticamente cualquier momento los movimientos que hay en el campo del turismo.

1.2 Aspectos Históricos de las Agencias de Viajes

Las agencias de viajes surgen como una necesidad de proporcionar servicios a los viajeros, ya que en nuestros días ha habido una intensificación de éstos, tanto en el interior del país como en el extranjero, habiéndose convertido en un fenómeno de masas, no sólo por la cantidad de personas que afecta, sino por el hecho de ser una de sus manifestaciones más características la organización de viajes colectivos. Este incremento se debe, más a necesidades impuestas por la vida moderna de un modo imperioso y directo, al afán de evasión del medio ordinario de vida que experimentan los hombres y que se encuentra en el fondo de todo juego o diversión.

En un sentido estricto, el turismo nace de la necesidad de conocer lugares y costumbres exóticas, de buscar algo nuevo; a ello se añade el deseo de acrecentar la propia cultura, que lleva al viajero a visitar monumentos, museos, restos arqueológicos, creaciones de la técnica, edificios, bellezas naturales, etc., aunque no haya sido éste el propósito que le llevó a emprender el viaje. Muchas veces lo que impulsa al turista es el placer de viajar en sí, pero haciendo numerosos altos en su camino para ver y admirar, de pasada, lo que de interesante se le ofrezca en su itinerario. Además de lo que podríamos denominar como el turista clásico, se debe agregar a esta lista de viajeros a quienes se señalan un fin, que puede ser visitar un templo o santuario famoso, un museo o monumento determinado, realizar estudios en un centro cultural renombrado, ser atendidos en una clínica o sanatorio, encontrar el lugar ideal para la práctica de su deporte favorito, presenciar determinado espectáculo

o competición deportiva, o disfrutar de otras diversiones. De aquí se dice que hay distintas modalidades denominadas turismo deportivo, terapéutico, religioso y cultural, que incluye el turismo docente, científico y artístico, e inclusive el llamado profesional, que comprende la asistencia a ferias, exposiciones y otras manifestaciones industriales y comerciales, o viajes de negocios en general; y por último el llamado turismo climático que se refiere a las temporadas de descanso en lugares de mar, montaña, etc. aconsejables por las condiciones saludables de su clima.

Puede afirmarse con absoluta propiedad que el turismo se ha practicado desde tiempos remotos. Siempre los hombres más insignes han viajado para ampliar sus conocimientos sobre los países que visitaban o para estudiar en sus universidades y escuelas de más renombre. En cuanto al turismo de masas, han sido quizá los motivos religiosos los primeros que los promovieron. Los antiguos griegos, por ejemplo, acudían a los templos famosos movidos por la devoción o por el afán de estar presentes como espectadores o actores en las fiestas y competiciones que en algunos de ellos tenían lugar, como los célebres Juegos Olímpicos. Casi todas las religiones han tenido y tienen sus lugares de peregrinaje, como La Meca para los mahometanos; Benarés para los indúes; Jerusalén y Roma para los cristianos, etc.; que al ser visitados por innumerables peregrinos de todos los países, desempeñaron un papel muy importante en la difusión de la cultura, y hasta en la historia de la evolución de las ideas políticas.

El turismo fomenta el conocimiento mutuo de los pueblos y regiones, al tiempo que proporciona diversión y ocasión para adquirir nuevos conocimientos; su acción informadora y educativa le permite colaborar a crear un mejor entendimiento entre todos los que mediante él se conocen directamente. Se le considera como un instrumento unificador importantísimo, una magnífica herramienta de paz e integración

entre los pueblos, por cuanto fomenta el intercambio cultural entre ellos, haciendo que la gente se sienta más unida, y menos aislada.

No obstante, el turismo, en la forma e intensidad que hoy ha cobrado, encuentra su origen inmediato en la Inglaterra del siglo XIX, a mediados del cual se crean las primeras agencias de viajes que organizan expediciones colectivas.

Puede decirse que todo empezó con Thomas Cook, considerado el padre del Turismo. Nació de origen muy humilde el 22 de noviembre de 1808, en Melbourn, en el Derbyshire (Inglaterra). Huérfano de padre desde los cuatro años, dejó a los diez la escuela para ayudar con su salario a los gastos de la casa. Empezó por ser tornero, más con su carácter inquieto y vagabundo, pasó después a una editorial de una Asociación Baptista, que le encargó, en doble trabajo de misionero y agente, en el Condado de Rutland, la difusión de Biblias. En un solo año, 1829, recorrió a pie más de 2,000 millas. En 1841 tuvo lugar un Congreso Antialcohólico en Leicester, y Thomas Cook, llevado de su vocación misionera, para asegurar el éxito del mismo tuvo la idea de organizar un tren especial entre Leicester y Loughborough. Resueltas las gestiones con la Compañía, dicho tren, costado por Cook, salió el 5 de julio con 570 viajeros, ida y vuelta, a un shilling por cabeza. Este fué el primer viaje colectivo organizado.

Después de esta primera experiencia, Cook continuó encargando trenes completos con ocasión de Congresos similares o simplemente de viajes de placer. La exposición de Hyde Park, en 1851, le proporcionó 165,000 clientes. Como puede suponerse, es éste el nacimiento de la primera Agencia de Viajes. Asistido por su hijo, la firma tomó por nombre "Thomas Cook and Son". Dominado el negocio en Inglaterra, Cook extendió genialmente su radio de acción al Continente (1855): París, Bruselas,

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

entre los pueblos, por cuanto fomenta el intercambio cultural entre ellos, haciendo que la gente se sienta más unida, y menos aislada.

No obstante, el turismo, en la forma e intensidad que hoy ha cobrado, encuentra su origen inmediato en la Inglaterra del siglo XIX, a mediados del cual se crean las primeras agencias de viajes que organizan expediciones colectivas.

Puede decirse que todo empezó con Thomas Cook, considerado el padre del Turismo. Nació de origen muy humilde el 22 de noviembre de 1808, en Melbourn, en el Derbyshire (Inglaterra). Huérfano de padre desde los cuatro años, dejó a los diez la escuela para ayudar con su salario a los gastos de la casa. Empezó por ser tornero, más con su carácter inquieto y vagabundo, pasó después a una editorial de una Asociación Baptista, que le encargó, en doble trabajo de misionero y agente, en el Condado de Rutland, la difusión de Biblias. En un solo año, 1829, recorrió a pie más de 2,000 millas. En 1841 tuvo lugar un Congreso Antialcohólico en Leicester, y Thomas Cook, llevado de su vocación misionera, para asegurar el éxito del mismo tuvo la idea de organizar un tren especial entre Leicester y Loughborough. Resueltas las gestiones con la Compañía, dicho tren, costado por Cook, salió el 5 de julio con 570 viajeros, ida y vuelta, a un shilling por cabeza. Este fué el primer viaje colectivo organizado.

Después de esta primera experiencia, Cook continuó encargando trenes completos con ocasión de Congresos similares o simplemente de viajes de placer. La exposición de Hyde Park, en 1851, le proporcionó 165,000 clientes. Como puede suponerse, es éste el nacimiento de la primera Agencia de Viajes. Asistido por su hijo, la firma tomó por nombre "Thomas Cook and Son". Dominado el negocio en Inglaterra, Cook extendió genialmente su radio de acción al Continente (1855): París, Bruselas,

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Colonia, Maguncia, Frankfurt, Heidelberg, Baden-Baden, Strasbourg... Después, Suiza e Italia. En 1865, 35 personas hicieron el primer viaje "todo incluido" a los Estados Unidos.

En 1872 organizó la primera vuelta al mundo en las mismas condiciones; el viaje duró doscientos veintidós días. La actividad de Cook en la organización de estos viajes llegaba a la preparación cuidadosa del viaje en todos sus detalles. En este mismo año, Cook inaugura su primera oficina permanente fuera de Europa: la de Nueva York, en Bajo Broadway. En 1966, la "Thomas Cook and Son" contaba con más de 400 agencias en 68 países.

Pero lo que califica al "fenómeno Cook" dentro de su especialidad es precisamente la evolución paulatina del perfeccionamiento que dió a la empresa creada por él. Así, aparece en 1845, el primer itinerario impreso para uso de los clientes; en 1846 organiza la primera excursión con guías; en 1850 forma contratos con el Great Eastern Railway para la venta de billetes de ferrocarril, con un mínimo de 500 anuales, que Cook vendió en un mes; por primera vez también, actúa como contractor con un país extranjero (Suiza), que le concedía un 3%; en 1850 aprovecha una coyuntura tal como la Exposición de París; en 1862 introduce en los "Individual Inclusive Tours", debidos a la iniciativa de Thomas Bennet (1850), el pago del hotel al regreso del cliente y en 1867, el cupón de hotel a precio fijo válido para una noche. En 1872, se establece el Circular Note, verdadero antecedente del actual Traveller's Check (1891), que inspiró en 1882 a la American Express Company para su "Money Order".

Cuando Cook muere, en 1892, la "Agencia Cook and Son" era la más importante del mundo, pero cerca de 500 Agencias de Viajes seguían el camino abierto por él.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Tenemos que en Alemania es en el año de 1873 cuando se funda la primera agencia de viajes por Stanger, al organizar el primer viaje a Palestina, y en 1878 el primer viaje alrededor del mundo.

Estados Unidos se incorpora de manera importante a las corrientes de los turistas por Europa en 1918, debido principalmente a las condiciones socioeconómicas que se experimentaban en ese país.

Sin embargo, a diferencia del campo de las comunicaciones, la Segunda Guerra Mundial detendría en gran parte la creciente importancia de los movimientos de viajeros; pero, de ella saldrían las nuevas formas del turismo, con una fuerza tal que perdura hasta nuestros días. En el círculo del desarrollo, el turismo contemporáneo llega a parecer una consecuencia que debe algo al desarrollo del transporte, la industria y el comercio. Al primero se le debe la movilidad indispensable; al segundo la motivación de la evasión, el mayor tiempo libre, y las mejores condiciones generales en los niveles de vida conquistados por los trabajadores; y al comercio, finalmente, sus técnicas de aprovechamiento.

En México, en el siglo XIX, resulta que debido a su orografía, y a la dispersión de su población, no había carreteras propiamente dichas, ya que los caminos existentes eran para caballos y mulas. En 1805, ya corre una diligencia entre México y Puebla.

Al iniciarse el siglo XX, México es un país lleno de agudos contrastes en todos los aspectos; la centralización del poder y las contradicciones socioeconómicas de su población, sentaron las bases del movimiento armado que se avecinaba; el estado de su economía y producción, así como el retraso en la infraestructura de caminos sientan las bases del retraso económico indefinido, encaminando al país hacia una

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

dependencia del exterior. Las grandes innovaciones que se dan en América del Norte y en Europa en lo referente al transporte, llegan con retraso a México. En este contexto, los viajes y el turismo son muy elitistas, y tienen las características de las sociedades europeas del siglo XIX.

En el primer decenio del siglo XX, se efectúan los primeros vuelos realizados por pilotos mexicanos, es la época de Alberto Braniff y el ingeniero Alfredo Robles Domínguez; y es en Julio de 1921 cuando se otorga la primera concesión aérea a la Compañía Mexicana de Transportación Aérea, S.A., que establece un servicio regular de pasajeros en la ruta México - Tampico. En ese mismo año se da la segunda concesión para la misma ruta, formándose la Compañía Mexicana de Aviación. La construcción de carreteras de una empresa estadounidense se prolonga hasta 1928, año a partir del cual todos los caminos son trazados, ejecutados y conservados, por ingenieros y constructores nacionales.

En 1929, se crea la Comisión Mixta Pro Turismo, que es la primera organización oficial turística del país, por el presidente Emilio Portes Gil. Durante el mismo, se da en México el primer grupo organizado de turistas, estando conformado éste por ferrocarrileros que realizan una convención. El número de visitantes en 1929-1930 asciende a las 102,820 personas, de las cuales 64,491 son nacionales que viven en el exterior y 33,329 extranjeros.

Con la expropiación petrolera, hecho político-económico, se viene una desacreditación de México por parte de Estados Unidos, lo que resulta en un menor número de visitantes de dicho país, aún a pesar de la aparición del llamado Club de Viajes Pemex, que habría de trabajar para promover el turismo automovilístico del mencionado país, que era el más importante para México.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los sucesos europeos preparatorios de la Segunda Guerra Mundial hacen que la imposibilidad de viajar a otros lugares turísticos en el mundo, resultara benéfico para México, ya que era difícil e inseguro para la población de Estados Unidos viajar hacia otros sitios.

En 1934 se funda, con capital privado, Aeronaves de México. Entre 1929 y 1945, se sientan las bases que permitirían captar una creciente corriente de viajeros internacionales. La posición de México en el Mundo, como país de grandes atractivos turísticos es indiscutible desde el primer momento, pero poco a poco aparecería una mayor oferta internacional derivada del creciente desarrollo del turismo y del impacto económico que de él se deriva.

Sin embargo, es hasta 1938 cuando los albores del turismo y las agencias de viajes tienen su nacimiento. Por mencionar algo, y poder imaginar la situación en esa época, los turistas iban únicamente por un par de horas a Acapulco, ya que no había nada, el único entretenimiento era llevarlos a la playa a comer ostras que ellos mismos abrían, para ver si encontraban una perla. En este mismo año existían apenas 7 ó 8 agencias de viajes en todo el país. Es en 1938 cuando se lleva a cabo un Congreso Interamericano de Turismo, siendo los participantes por México los siguientes:

"Aguirre Guest Tours" de Enrique Aguirre.

"Velasco Sightseeing Line" de Enrique M. Velasco.

"Consejeros de Viajes México" de Jimmie Dubin.

"Wells Fargo and Company Express S.A." representado por la señora Annis.

"Wagons Lits Cook" cuyo gerente era Oreste Cabutti.

"Ramírez Sightseeing Tours" de Andrés Ramírez.

"México Tours" de Abbas Khedry.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La primera Asociación de Agencias de Viajes se funda en 1942, y la segunda en Julio de 1945.

El fin de la Segunda Guerra Mundial es la partida del turismo moderno. Tenemos así que para 1950, el número de llegadas de turistas internacionales en el mundo alcanza la cifra de 25.3 millones de personas; para 1960 esa cifra era de 69.3 millones, con crecimiento medio anual del 10.6%.

Consideremos que para conseguir la posesión de cualquier bien existe, desde el punto de vista de la producción, básicamente existen tres formas de producirlos: hacerlo uno mismo, encargarlo a un artesano o especialista, o finalmente adquirirlo como un producto industrializado acabado.

En el mercado turístico aparece la agencia de viajes con una función de intermediaria y semejante al artesano, que con base en un encargo concluye una mercancía.

La agencia de viajes hace accesible a los turistas las amplias funciones de las instituciones turísticas y canaliza el paso a ellas. Actúa como agente con todo aquel que solicita sus servicios y presenta ante sus clientes los pormenores del viaje de un modo racional, calculando los gastos de estancia y de viaje, sin considerar los relacionados a cuestiones prescindibles. Dado que el agente de viajes, vive de las comisiones que le proporcionan las instituciones turísticas, la planificación y los preparativos del viaje, la consecución de los detalles y el despacho de las formalidades son servicios suministrados gratuitamente al cliente.

Al igual que el artesano siempre tiende cada vez más a alternar junto con su propio trabajo artesanal de piezas individuales, el manejo de productos industrializados, así

como las actividades de las Agencias de Viajes no se limitan a hacer de intermediarias en el viaje individual, ya que es cada vez más frecuente que éstas organicen viajes colectivos.

Al verse beneficiada no sólo la industria turística, en donde están contempladas las agencias de viajes, por éste fenómeno, sino también otro tipo de negocios que de forma indirecta suministra artículos o bienes, servicios que consume el turista, el país que es visitado toma una serie de medidas, englobadas bajo la denominación de política turística, y que tienden a fomentarlo y a crear o impulsar las actividades necesarias para su desarrollo.



FIGURA 1.2 Función de las Agencias de Viajes

El desarrollo del turismo ha sido paralelo a los adelantos técnicos en materia de transporte, lo que ha permitido multiplicar sus medios a la par que reducir tarifas y aumentar comodidad, velocidad y distancias. También los progresos que se han observado en el campo de las comunicaciones han facultado dicho desarrollo, ya que se puede realizar contacto entre dos puntos de manera rápida y fácil.

Anteriormente en las agencias de viajes, había que comunicarse constantemente a los establecimientos con quienes se pretendía entablar una relación de negocios para poder satisfacer las necesidades de los viajeros, por lo que la atención a los usuarios se veía afectada en el tiempo de respuesta, ya que el único acceso a la información era vía telefónica o por medio del télex.

1.3 Aspectos Históricos de los Sistemas de Tele-reservaciones

Dadas las necesidades en el sector turismo, procurando que éstas vayan siempre en aumento debido a las ventajas económicas que éste trae consigo para el país que explota este aspecto, como ya se mencionó anteriormente, surge como una respuesta a esta demanda de intercambio de noticias la creación de grandes bases de datos de información a nivel mundial, llamados "sistemas de tele-reservaciones".

Podemos decir que dichos sistemas son la verdadera tecnología de punta de la actividad turística, al llevar a la descentralización de los recursos y a la centralización de las decisiones. Integran muchos de los servicios anexos al turismo y conjuntamente con el poder financiero de las trasnacionales de aviación, representa una concentración sin precedentes, de instrumentos de poder en el campo del turismo. Estos sistemas han sido impulsados fundamentalmente por las empresas de transporte aéreo de los países desarrollados.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los sistemas computarizados de reservaciones han tenido su desarrollo tanto en Estados Unidos como en Europa. En nuestro caso enfocaremos nuestro interés a los introducidos en Estados Unidos. Así, tenemos que uno de los primeros sistemas en el mundo fué el **ATARS** (Automatic Travel Agency Reservations System - Sistema Automático de Reservaciones para Agencias de Viajes), el cual falló en los sesentas.

En 1964 American Airlines fué la primera aerolínea en lanzar un sistema automático de reservaciones para agencias de viajes conocido como "sistema SABRE". En 1967, Continental Airlines e IBM lanzan el **PARS** (Programmed Airlines Reservation System- Sistema Programado de Reservaciones en Aerolíneas, nombre genérico y diferente al sistema actual de TWA y Northwest). Un año después fue lanzada la versión internacional de este sistema, el **IPARS**, conjuntamente por British Airways e IBM.

En 1968 es implementado el sistema de reservaciones (PARS) interno por Delta Air Lines; en 1971, Trans World Airlines (TWA) implementa su PARS interno, y es hasta el año de 1976, cuando inicia la instalación de PARS TWA en las agencias de viajes. Por su parte, en 1982 Delta Air Lines inicia la instalación del sistema "DATAS II" en las agencias de viajes. En 1984, DATAS II introduce estaciones de trabajo inteligentes.

En el año de 1986, Northwest Airlines compra el 50% de las acciones de PARS TWA, de los Sistemas de Información de Viajes (**PTIS** - PARS Travel Information Systems) PARS, y la Asociación de Servicio PARS (**PSP** - PARS Service Partnership) formada.

Otro sistema, el Marsplus, operó por varios años siendo propiedad originalmente de la ITT; después fué adquirido por Tymnet, sus suscriptores se convirtieron al sistema SODA, al cual se integró. Otras aerolíneas mantuvieron sistemas pequeños, pero fueron eclipsados por las cinco grandes: APOLLO de United; DATAS II de Delta,

Western'PARS de TWA y Northwest; SABRE de American Airlines y System One (SODA) de Texas Air, Eastern y Continental.

En 1988, los Sistemas de Negocios DatasLink se fusionan con Delta Air Lines; en este mismo año, los Sistemas de Distribución ABACUS abren sus operaciones en Asia.

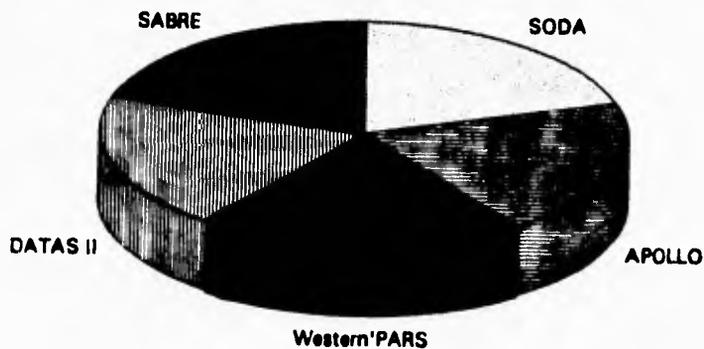


FIGURA 1.3 Primeros Sistemas de Reservaciones

El 7 de febrero de 1990, el Departamento de Justicia de los Estados Unidos aprueba la fusión de DATAS II y PTIS, con lo cual se da origen al Servicio de Información de Viajes WORLDSPAN, para competir con las otras poderosas; siendo los responsables de su aparición tres líneas aéreas internacionales: DELTA AIR LINES, TRANS WORLD AIR LINES y NORTHWEST AIR LINES.

Worldspan en su deseo de ser el servicio de tele-reservaciones más importante a mediados de este año hace una alianza con ABACUS, que es el Sistema de

Reservaciones por Computadora (CRS) más importante en el área de Asia que limita con el Océano Pacífico. (La propiedad de este sistema es: un 38% de Delta, 32% de Northwest y el 25% de Trans World Airlines y 5% de ABACUS).

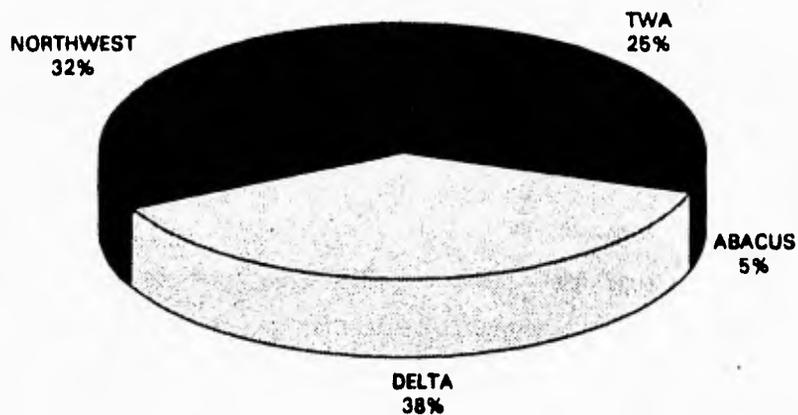


FIGURA 1.4 Socios de Worldspan

En 1992 WORLDSPAN, ABACUS y AMADEUS forman una alianza técnica. En 1993, WORLDSPAN adquiere la Asociación de Servicio PARS (PSP) y el Centro de Datos de Worldspan de Atlanta queda completamente operacional. Finalmente, en 1994, queda completada la unificación del sistema Worldspan.

1.3.1 Servicios que Proporciona el Sistema de Tele-reservaciones

El sistema Worldspan es diseñado para distribuir, organizar, almacenar y acceder cantidades masivas de información global de viajes. Como:

- ◆ Información de todos los descuentos de tarifas publicadas
- ◆ Comparación y cotización inmediata de costos.
- ◆ Costo automático de itinerarios de viajes complejos
- ◆ Conversión rápida de la moneda para itinerarios que se originen en destinos fuera del país.

El sistema WORLDSPAN, habilita al agente de viajes a proporcionar servicios al viajero, como lo es la asignación de la línea aérea, el automóvil y el hotel, los cuales pueden arreglarse instantáneamente para itinerarios en cualquier parte del mundo. **Más allá de las reservaciones, WORLDSPAN le ayuda al agente de viajes a estar mucho más preparado para ofrecer al viajero información detallada acerca del lugar a donde se vaya a viajar como por ejemplo: las costumbres de las ciudades que se visitan, sus principales atracciones, horario de trabajo del banco, propinas, requisitos de manejo, tarjetas de crédito que se aceptan, y el intercambio y conversión actual de la moneda.**

El sistema unificado de Worldspan funciona como un brazo de distribución electrónico de las compañías de líneas aéreas, arrendadoras de automóviles y hoteleras, de operadores de tours, de líneas de cruceros y de otros numerosos servicios de viajes, cuenta con una amplia base de datos que es constantemente enriquecida con los datos más recientes, logrando estar actualizada en tarifas durante las 24 horas del día sin interrumpir el servicio, y lo que lo hace un sistema tan poderoso es que la base de datos tiene más de 50 millones de tarifas al minuto. Podemos agregar que Worldspan

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

es el conjunto de personas, productos y servicios que están dedicados a ayudar a que las agencias de viajes realicen conexiones vitales, y que para ser un sistema de alto desempeño, el tiempo del sistema está por debajo de los tres segundos en promedio.

El sistema de reservaciones por computadora WORLDSPAN, soporta aproximadamente 13,000 suscriptores de agencias de viajes alrededor del mundo. Algunos datos interesantes de Worldspan son:

- 365 Aerolíneas que se pueden reservar a través del agente de viajes
- 168 Compañías hoteleras (26,500 propiedades)
- 40 Compañías de arrendamiento de automóviles
- 35 Proveedores de servicios especiales de viajes .
- Cobertura en más de 40 países en el mundo.
- 4,220 gigabytes disponibles para el almacenamiento en disco.
- 971 millones de mensajes procesados (pico mensual)

Dentro de los proveedores de servicios especiales de viajes se incluyen las líneas de cruceros, servicios de tren, operadores de tours, servicios de reservación de boletos para el teatro y entretenimientos, servicios de visa, pasaporte, télex, información del clima, etc.

Cabe añadir que las agencias de viajes deben contar con un mínimo de equipo de comunicaciones conformado por:

- Computadora personal
- Modem para comunicaciones
- Línea telefónica, línea privada, o radioenlace.

1.4 Problemática Actual

Como el hecho de brindar el servicio a entera satisfacción del cliente es la meta primordial tanto para las agencias de viajes, como para el propio sistema de tele-reservaciones; provoca que dicha permuta de informes deba efectuarse de una manera eficiente y rápida; consideremos entonces la forma en que se efectúa el enlace actualmente, las agencias de viajes localizadas en el interior de la República Mexicana se conectan hacia el Distrito Federal, en donde se realiza el enlace hacia el sistema de tele-reservaciones, que se encuentra en Atlanta, Georgia y en Kansas City, Missouri, ambas ciudades en los Estados Unidos de Norteamérica, esto conlleva a enfocar nuestro interés en la optimización de los medios de comunicación empleados para conseguir el objetivo deseado. Es importante hacer notar que dicha optimización debe considerar también el volumen de operaciones que se realizan diariamente en cualquier punto del país.

Enfocando lo concerniente a la rapidez del sistema, tenemos que el enlace existente satisface dicho punto, siempre y cuando no exista saturación por tráfico, que puede imposibilitar dicha unión, o en el mejor de los casos, trae consigo una demora en el tiempo de conexión, por ningún motivo conveniente para el usuario; por lo tanto, debe buscarse alguna otra posibilidad de acceder al sistema de tele-reservaciones, esto es, disponer de otra ruta, lo cual es una solución viable, siempre y cuando a su vez este nuevo camino no presente el mismo problema.

Tenemos que el intercambio de información se lleva a cabo de los nodos de provincia hacia el nodo del Distrito Federal mediante la transmisión de datos vía microondas, el enlace se realiza por medio de TELEPAC, servicio con el que cuentan la mayoría de las agencias de viajes, por IUSANET o por INFONET, y de la capital de México hacia

Estados Unidos de Norteamérica es través de INFONET por medio de la fibra óptica.

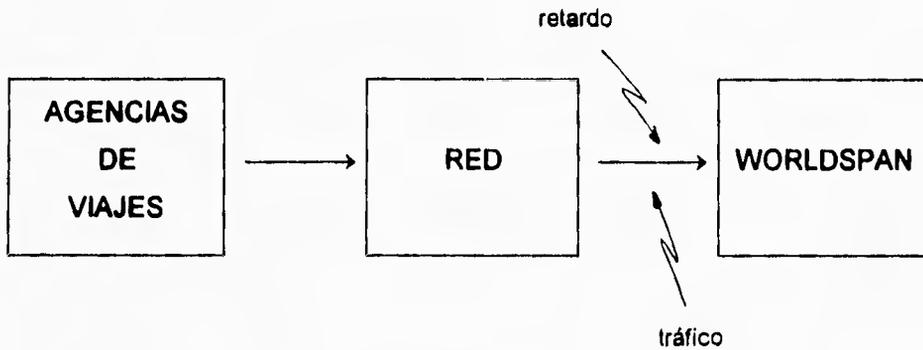


FIGURA 1.5a Diagrama de bloques de la situación actual de la red

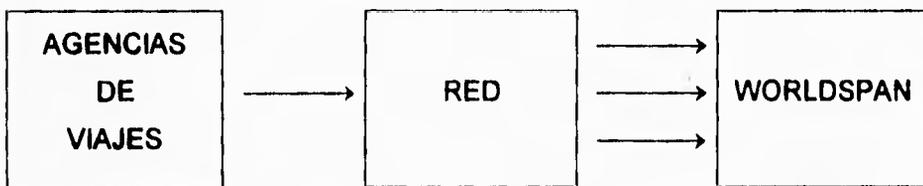


FIGURA 1.5b Diagrama de bloques de la propuesta para la red

El servicio que TELEPAC proporciona se basa en las redes de conmutación de paquetes, que permite la realización de un multiplexaje lógico para el mejor aprovechamiento de los canales de comunicación.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

IUSANET es un sistema de transmisión y recepción móvil y fija de datos que se "superpone" a la red celular IUSACELL, es por lo tanto un servicio que se realiza en forma inalámbrica, a través de paquetes y circuitos conmutados. Contando con un equipo terminal como lo es una computadora personal, PC, conectada a un modem inalámbrico que tenga acceso a un **host** (anfitrión - Sistema Central de Usuario), de donde se pueden efectuar aplicaciones como el intercambio electrónico de datos. La conmutación de paquetes se transmite sobre un canal desocupado de voz, y es mejor para ráfagas cortas de información. Los circuitos conmutados operan del mismo modo, con una llamada celular, el usuario llama a su destino y está directamente conectado hasta que la transmisión es terminada; éste método es usualmente el mejor para transmisiones largas de datos como faxes y transferencia de archivos.

Lo que la red INFONET puede ofrecer va desde un sencillo servicio de red pública de datos hasta complejos sistemas de redes privadas o semiprivadas, lo cual le permite ofrecer soluciones globalizadoras en un mundo empresarial en el cual el aspecto internacional es de creciente importancia. También se basa en la conmutación de paquetes.

En el siguiente capítulo se verá de manera más amplia y detallada la estructura de las redes mencionadas.

Se puede tener acceso a la red utilizando los principales protocolos de comunicaciones a través de líneas privadas o públicas a diversas velocidades.

Al tener estos tipos de enlace para acceder al sistema, y con el incremento del número de agencias de viajes de manera no uniforme en el territorio nacional que hacen uso del sistema de tele-reservaciones, es factible hallarse ante el caso de tener tiempos de

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

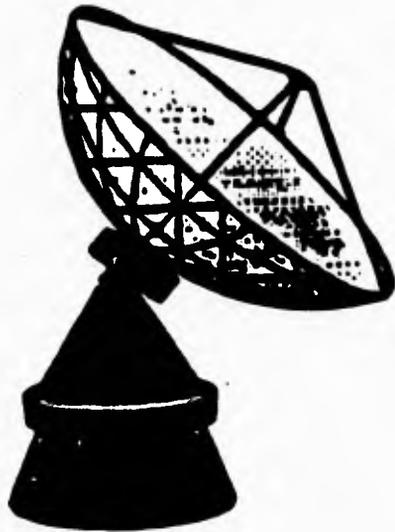
conexión sin la eficiencia requerida por encontrarse con congestamiento de llamadas en los diferentes nodos que conforman la red, provocando lentitud en el sistema, lo cual origina tiempos de respuesta muy lentos, tendiendo a bloquear o cortar la comunicación, o que cuando la llamada es rebotada, el usuario no consiga el acceso a la red.

Por todo lo anterior se plantea el diseño de una red satelital que se incorpore a la ya existente como una propuesta de solución para una comunicación más eficiente entre los diferentes nodos de la República Mexicana, siendo los de mayor importancia el Distrito Federal, Monterrey y Guadalajara, con las ciudades de Atlanta, Georgia y Kansas, Missouri; logrando con ello dar cause al enlace y consiguiendo proporcionar un buen servicio a nivel nacional e internacional, integrando al sistema como un todo.

Por lo tanto, la propuesta del diseño de la red tiene como objetivo reducir los costos e incrementar la productividad y eficiencia, ya que el intercambio de información es confiable y seguro gracias a los avances con que se cuenta en México en el campo de las comunicaciones.

CAPITULO 2

ANALISIS Y EVALUACION DE LA RED ACTUAL



2. ANALISIS Y EVALUACION DE LA RED ACTUAL.

2.1 Estructura de la red actual

La estructura de la red del sistema de tele-reservaciones como se puede apreciar en la figura 2.1, está integrada por tres redes de comunicaciones de datos públicas: la red INFONET, la red TELEPAC y la red IUSANET. Y sus **hosts** (anfitriones) se encuentran ubicados en las ciudades de Kansas, Missouri y Atlanta, Georgia, en los Estados Unidos.

A continuación hablaremos un poco de las redes de comunicaciones de datos públicas que integran la red del sistema de tele-reservaciones.

2.1.1 Red INFONET

Infonet es una red de comunicaciones de datos mundial que proporciona servicios de red y servicios de valor agregado. Los servicios de red son aquellos que permiten a los usuarios tener servicios de Red para la comunicación de datos de un lugar a otro. Los servicios de valor agregado son todos aquellos servicios donde se agrega un valor a la comunicación de datos como lo es: funciones de conversión de velocidades de transmisión de datos, conversión de códigos, conversión de protocolos, detección y corrección de errores y redireccionamiento de la llamada, entre otros. La red Infonet ofrece servicios que van desde un sencillo servicio de red pública de datos hasta complejos sistemas de redes privadas y semiprivadas, lo cual le permite ofrecer soluciones globalizadoras en un mundo empresarial en el cual el aspecto internacional se vuelve crecientemente importante.

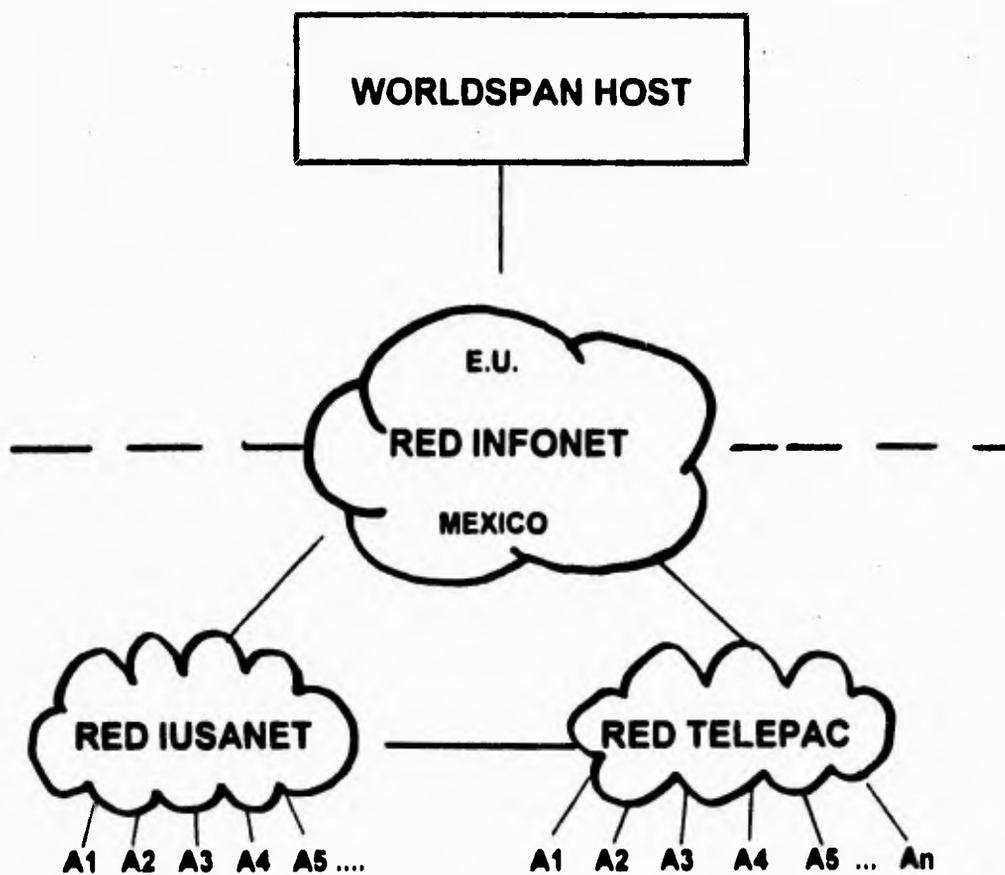


FIGURA 2.1 Estructura general de la red del sistema de Tele-reservaciones

2.1.2 Red TELEPAC.

La red Telepac es una red de comunicaciones para la transmisión de datos pública especializada, ya que emplea la técnica de conmutación de paquetes, la cual permite a los usuarios contar con un servicio confiable con costos independientes de la distancia.

Dentro de las aplicaciones y servicios que presta la red Telepac podemos mencionar: el establecimiento de redes interurbanas con una gran dispersión geográfica de terminales a un costo mínimo; como soporte a redes privadas de teleproceso (LANs) para todos los sectores; acceso a bancos de información tanto nacionales como internacionales y acceso a servicios de correo electrónico (servicio computarizado de distribución de mensajes en buzones electrónicos).

2.1.3 Red IUSANET

Iusanet es una red de comunicaciones pública, la cual está respaldada por el grupo Iusacell, ahora asociado con la empresa norteamericana Bell Atlantic. El objetivo principal de la red Iusanet es brindar soluciones integrales de telecomunicaciones, ya que no solo cuenta con la tecnología más avanzada en el área celular, sino que también ofrece servicios de red, transmisión de datos, circuitos privados de comunicación, servicio Data Cell, videoconferencia, telefonía empresarial y número universal (servicios personales de comunicación).

Ya que estas redes se basan en la técnica de conmutación de paquetes, es conveniente ampliar un poco la información a este respecto.

El término conmutación de paquetes aparece en la década de los 60's. Dicho surgimiento se da como consecuencia de la técnica de asignación dinámica de

recursos, la cual se basa en la utilización del canal de comunicaciones sólo cuando la información se encuentra lista para ser enviada, lo cual se logra mediante el manejo de bloques o "paquetes" de información de manera discreta.

Con la técnica de conmutación de paquetes, el mensaje a transmitir se divide en una serie de caracteres agrupados, denominado "paquete", cuya estructura consta de una cabecera, un texto y una secuencia de control que verifica la correcta recepción del mismo. La cabecera del paquete se encarga de identificar la terminal de destino, a fin de que la red pueda realizar el correcto enrutamiento; identificar la terminal de origen, para saber la procedencia y efectuar un control sobre el paquete. Puesto que estos paquetes son transmitidos sobre rutas diversas, es posible que no lleguen en secuencia al extremo receptor. Una característica fundamental de este tipo de conmutación es que se pueden almacenar los paquetes en el núcleo de memoria del conmutador principal gracias a su reducido tamaño.

La selección de la trayectoria es una función dinámica de las condiciones de la red en tiempo real; se puede evitar que los paquetes que pasan a través de esta lleguen a troncales o nodos en los que exista congestión o falla.

Los tres conceptos básicos que caracterizan la conmutación de paquetes son:

- **Direccionamiento único.**
- **Asignación dinámica del ancho de banda, y**
- **Enrutamiento de la llamada (concepto de circuito virtual).**

La primera red de este tipo fue desarrollada por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América, conocida con el nombre de **A.R.P.A** (**Advanced**

Research Projects Agency - Agencia de Proyectos de Desarrollo Avanzado). Dicha red empezó su operación con cuatro nodos a finales de los 60's.

A partir de entonces creció el interés en estos proyectos en numerosas empresas en diferentes países, siendo algunos de los más importantes: Francia (France Telecom), Inglaterra (P.T.T.), Canadá (DATAPAC), y desde luego en los Estados Unidos de América (S.I.T.A., TYMNET, TELENET).

Existen dos formas de llevar a cabo esta transmisión de datos a través de un canal de comunicaciones: de forma asíncrona o síncrona.

La comunicación asíncrona maneja cada caracter como una entidad separada, con un bit de arranque precediendo a los de información y uno o más bits de parada después de éstos. Los bits de arranque y parada indican al dispositivo receptor los límites de cada caracter enviado a través de la línea, por lo que el uso del ancho de banda se limita y, consecuentemente su eficiencia.

En el caso de la comunicación síncrona, los caracteres de información se transmiten en bloques a intervalos de tiempo precisos, de tal forma que el dispositivo receptor se encuentra listo para recibir grandes cantidades de información, esto permite cursar la información con mayor eficiencia y velocidad. Otra característica importante de la transmisión síncrona, es la adición de correctores de error, lo cual reduce en forma drástica la probabilidad de falla en el proceso de transmisión - recepción.

2.2 Topología de la red

La red del sistema de tele-reservaciones como ya se mencionó, en México está conformada por tres redes de comunicaciones de datos públicas las cuales cuentan con una topología propia. Sin embargo, si consideramos a cada una de ellas como un nodo de la red del sistema de tele-reservaciones, tenemos que ésta presenta una arquitectura centralizada con una topología de tipo estrella-estrella, en donde el nodo central reside en la red Infonet, la cual se encarga de establecer la comunicación entre los hosts ubicados en los Estados Unidos de Norteamérica (Atlanta y Kansas) y el nodo de México. La red Telepac, se comporta como una estrella, ya que la mayoría de las agencias de viajes ubicadas a lo largo del territorio nacional accesan a ésta, para ser enrutadas a la red Infonet y posteriormente hacia los hosts.

Por otro lado, la red lusanet realiza básicamente dos funciones: la primera es redireccionar parte de las llamadas de las agencias que accesan a la red Telepac hacia la red Infonet, a fin de descongestionar un poco el tráfico de llamadas recibidas por esta red; y la segunda es captar aquellas agencias de viajes que se encuentran en el interior del país en ciudades donde la red Telepac no tiene cobertura.

Para entender un poco mejor la topología que presentan cada una de las redes que forman parte de la red del sistema de tele-reservaciones, a continuación describiremos brevemente la topología que presentan cada una de ellas.

2.2.1 Topología de la red INFONET

La topología del **backbone** (columna vertebral) de la red mundial de Infonet es de tipo malla-estrella. Cada nodo de Infonet puede acceder a cualquier otro nodo mundial de Infonet; ya que la mayoría de estos cuenta por lo menos con dos rutas alternas para interconectarse a la red. En cada nodo de Infonet, se tiene además una topología tipo

estrella para concentrar a los usuarios locales. Como se puede apreciar en la figura 2.2

Por otra parte, Infonet proporciona a los grandes usuarios multinacionales las llamadas **VPDN** (Virtual Private Data Network), en las cuales el usuario puede seleccionar la topología que mejor se adecúe a sus necesidades. Las topologías que maneja la red Infonet son: **Vmesh**, **Vstar** y **Vstream**.

*** Vmesh**

Con una topología de malla virtual, cada nodo que compone a la **VPDN** puede comunicarse con cualquiera de los otros nodos restantes. Con este tipo de topología, el procesamiento de los datos es descentralizado, cada nodo puede generar y procesar información, los flujos de información van de múltiples localidades hacia múltiples localidades. Esta topología es ideal cuando se cuenta con varios mainframes, microcomputadoras o **LANs** dispersas geográficamente. Las líneas de **Vmesh** pueden tener velocidades de hasta 56/64 Kbps. En la figura 2.3 se observa esta configuración.

*** Vstar**

Topología tipo estrella, la distribución de la información es radial, esto es, que la información parte de un nodo central en donde se encuentra situado el **server** (ordenador) el cual controla todo el funcionamiento de la red, y no se tiene comunicación entre los nodos remotos.

Este tipo de topología es ideal para procesamiento central de datos en donde la información procede de varios puntos, pero es procesada en un mismo lugar. El rango de la velocidad de las líneas de **Vstar** van desde los 9.6 Kbps hasta los 56/64 Kbps. En la figura 2.3 se muestra este tipo de topología.

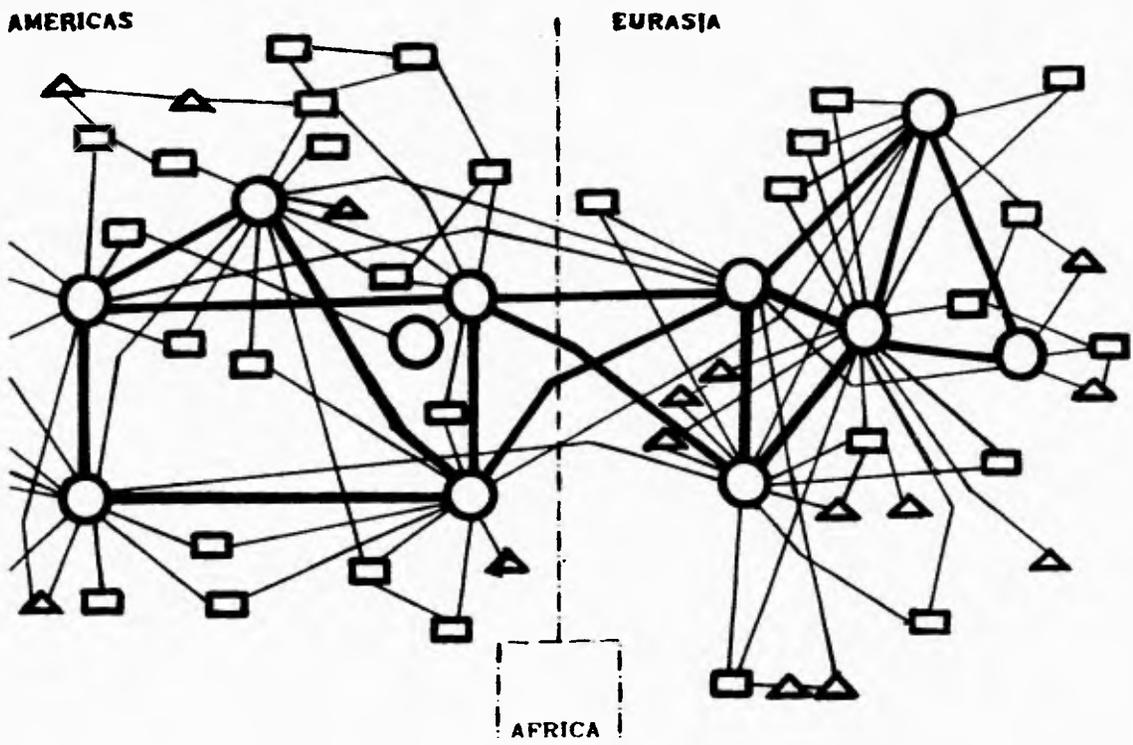
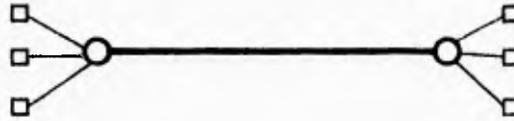
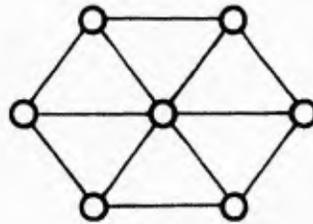


FIGURA 2.2 Topología de la red Internet

Topología Vstream



Topología Vmesh



Topología Vstar

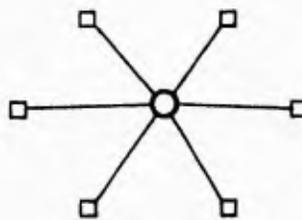


FIGURA 2.3 Topologías de la red Infonet para VPDNs

*** Vstream**

Topología punto a punto, ésta topología se usa para enlazar dos puntos. Generalmente es utilizada para conectar una VPDN con topología Vmesh o Vstar a un host adicional. Las líneas de Vstream pueden llegar a manejar niveles de tipo T1/E1. Como se puede apreciar en la figura 2.3



FIGURA 2.4 Red Infonet en México

La topología de la red Infonet para el nodo de México, es de tipo estrella y está compuesta de un nodo principal y tres nodos remotos. Su nodo principal se localiza en el Distrito Federal y los nodos remotos se ubican en las ciudades de Cancún,

Guadalajara y Monterrey. En la figura 2.4 se muestra la topología de la red Infonet en México.

2.2.2 Topología de la red TELEPAC

La infraestructura de comunicación de la red Telepac, al igual que la red Infonet está conformada siguiendo un diseño de tipo malla-estrella que la divide en dos subredes, la red de acceso y la red de transporte.

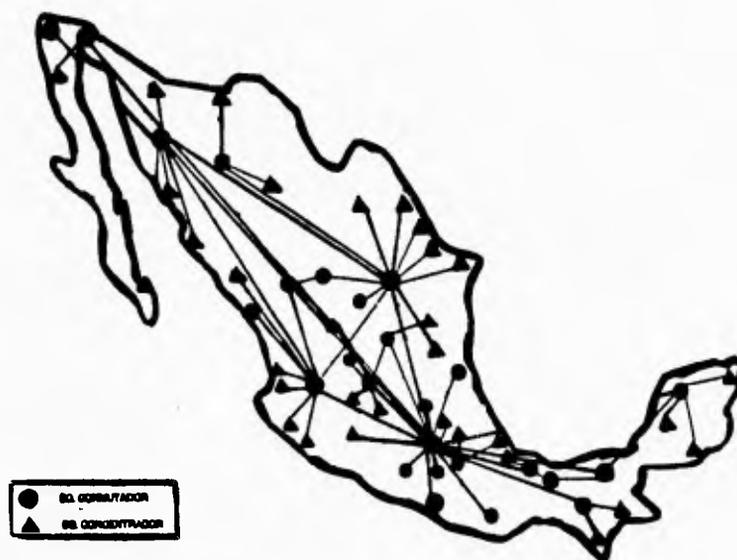


FIGURA 2.5 Topología de la red Telepac

La red de acceso la cual se encuentra compuesta por equipos concentradores y conmutadores conectados en estrella a la red de transporte. Su función principal es recolectar el tráfico de usuarios para ser enviados a los nodos principales de conmutación.

La red de transporte está constituida por los nodos principales de conmutación. En los nodos de D.F., Monterrey y Guadalajara, se cuenta con un enlace vía satélite con acceso TDMA, y con una topología de tipo malla. En la figura 2.5 se muestra la topología de la red Telepac a nivel nacional.

2.2.3 Topología de la red IUSANET

La topología de la red IUSANET es de tipo malla-estrella. Topología malla en el backbone de la red para brindar una alta confiabilidad y en caso de falla de alguno de los nodos de la red, la operación de ésta no se ve afectada. La topología de tipo estrella se emplea en los nodos de acceso para poder concentrar la información de los usuarios. En la figura 2.6 se muestra la topología que presenta la red IUSANET.

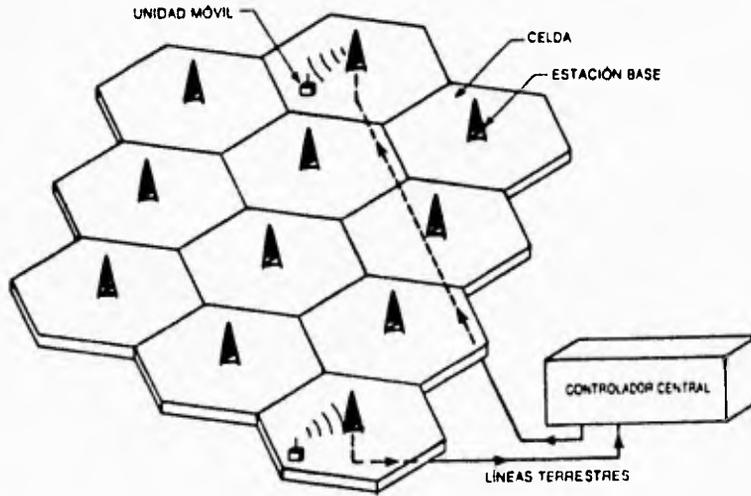


FIGURA 2.6 Topología de la red IUSANET

En la tabla 2.1 se muestra un cuadro comparativo de las topologías empleadas por cada una de las redes de comunicación de datos públicas analizadas.

RED	TOPOLOGIA
Infonet	Estrella (nodo de México)
Telepac	Malla - Estrella
lusanet	Malla - Estrella

TABLA 2.1 Cuadro Comparativo de las Topologías usadas por la red.

De lo anterior podemos resumir que el principal problema que presenta la topología actual de la red del sistema de tele-reservaciones es el hecho de no contar con dos o más puntos de interconexión para enlazar los nodos de México a los hosts ubicados en los Estados Unidos de Norteamérica, ya que todas las llamadas generadas por las agencias de viajes del territorio nacional son recibidas por las redes públicas, pero enrutadas y conecentradas en un solo nodo (Distrito Federal) de entrada y/o salida provocando con ello congestionamiento de la red, rechazo de llamadas, tiempos de respuesta muy grandes y en caso de presentarse alguna falla en el nodo central, no se tiene forma de canalizar la información por otra ruta alterna.

2.3 Medio de Transmisión de la red

La red es soportada por varias redes de comunicaciones de datos, las cuales emplean diversos tipos de medios de transmisión entre los cuales podemos mencionar los circuitos analógicos, los enlaces con microondas, y los circuitos digitales de alta velocidad que emplean la fibra óptica para transmitir la información, por lo cual el medio de transmisión de la red es heterogéneo, y el cual describiremos a continuación.

2.3.1 Medio de Transmisión de la red INFONET

El medio de transmisión que emplea la red Infonet para efectuar la interconexión entre nodos es en la mayoría de estos, por medio de enlaces digitales de fibra óptica, por ejemplo, Estados Unidos, Canadá, México, Sudamérica y parte de Europa. En el caso específico de México, éste cuenta con un enlace digital de fibra óptica a 64Kbps (el cual es proporcionado por la **RDI - Red Digital Integrada**) hacia Estados Unidos. En el caso de los nodos de Atlanta y Kansas, ambos están conectados a la red Infonet mediante circuitos digitales a una velocidad de 128 Kbps.

A nivel nacional, la red Infonet cuenta con tres nodos ubicados en las ciudades de Cancún, Guadalajara y Monterrey. Dichos nodos son enlazados mediante circuitos de microondas a una velocidad de 9600 bps. Cada nodo cuenta con varias líneas telefónicas de red conmutada; en las ciudades de Cancún y Monterrey, se dispone de líneas telefónicas analógicas, mientras que en el Distrito Federal y Guadalajara éstas son digitales. En el caso de los usuarios que tienen puertos dedicados X.25, pueden conectarse por medio de líneas privadas analógicas o por enlaces de radio a velocidades que generalmente van de los 4800 bps hasta los 9600 bps.

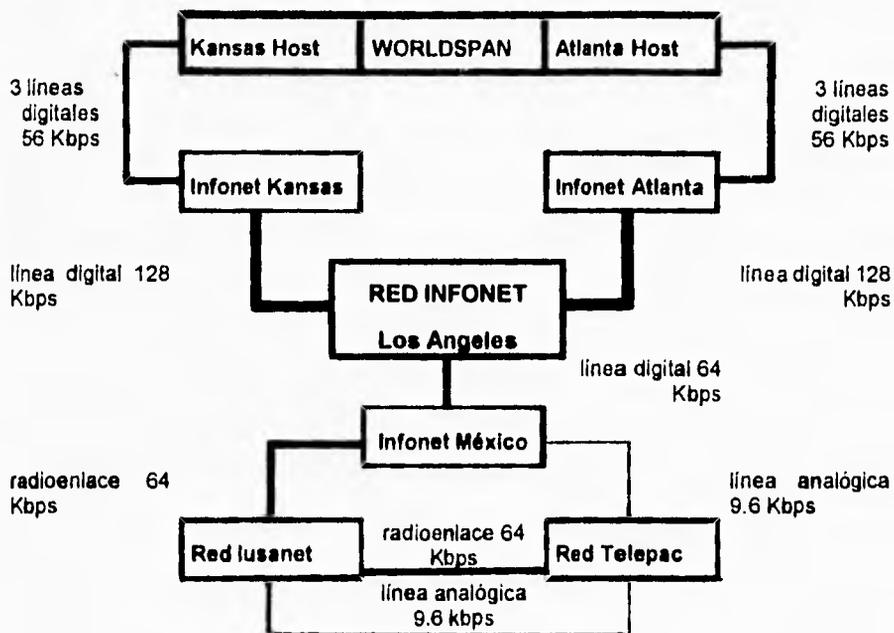


FIGURA 2.7 Medio de Transmisión del Sistema de Tele-reservaciones

2.3.2 Medio de Transmisión de la red TELEPAC

En la red Telepac, la interconexión de los nodos principales de conmutación se lleva a cabo por medio de enlaces de microondas a una velocidad de 9600 bps. En los nodos de Cancún, Guadalajara, y Monterrey se cuenta con un enlace satelital que opera en la banda C y cuya estación maestra se localiza en la ciudad de México

En los nodos locales, los usuarios se conectan a la red a través de enlaces telefónicos de red conmutada analógicos (a excepción del D.F. que cuenta con varias líneas

telefónicas digitales) o vía líneas privadas analógicas; las líneas digitales son proporcionadas por la RDI y las líneas analógicas por Telmex.

2.3.3 Medio de Transmisión de la red IUSANET

El medio de transmisión empleado por la red IUSANET para enlazar los nodos que constituyen el backbone de la red son las microondas, a velocidades de transmisión que oscilan en un rango de 64 Kbps, E1, E2, hasta DS3 (dos E1s), y el segundo medio de transmisión empleado para el backbone de la red es el satélite, el cual también es usado para servicios de CDPD (Cellular Digital Packet Data), con accesos TDM/TDMA, SCPC/FDMA, las bandas que se emplean son la banda C y la banda Ku. La red conmutada es por medio de telefonía celular, con costos de telefonía normal; en el caso de los enlaces privados, éstos son proporcionados vía microondas.

RED	MEDIO DE TRANSMISION			
	Interconectar los Nodos	Velocidad	Interconectar los usuarios	Velocidad
INFONET	<u>Fibra Optica</u> Méx/Dallas	9.6Kbps	L.T. Analógica.	0.3 - 2.4 Kbps
	<u>Microondas</u> Méx/Nodos	64Kbps	L.T. Digital	0.3 - 9.6 Kbps
TELEPAC	Microondas	9.6 Kbps	L.T. Analógica	0.3 - 1.2 Kbps
	Satélite	128 Kbps	L.T. Digital	0.3 - 2.4 Kbps
IUSANET	Microondas	64Kbps-DS3	L.T Celular	0.3 - 9.6Kbps
	Satélite	64kbps	Línea de acceso al satélite o ctos privados	9.6 - 64kbps

TABLA 2.2 Cuadro comparativo de los Medios de Transmisión empleados

La red del sistema de tele-reservaciones cuenta en Estados Unidos con seis líneas digitales cada una de ellas a una velocidad de 56 kbps, las cuales están distribuidas de la siguiente forma: 3 líneas para el host de Atlanta y las restantes para el host de Kansas. Estas líneas son empleadas para conectar los hosts a los respectivos nodos de la red Infonet en Estados Unidos. El nodo de Infonet México se conecta a Infonet Estados Unidos a través de un enlace digital a una velocidad de 64 kbps, con la trayectoria México-Dallas, Dallas-Los Angeles, California. La red Telepac y la red Infonet están interconectadas entre sí por medio de un puerto dedicado, el medio de transmisión usado para efectuar la conexión es el cable de par trenzado. La red lusanet por otro lado, le proporciona al sistema de tele-reservaciones tres circuitos privados, uno de ellos enlaza la oficina del Distrito Federal con la red Infonet a través de una línea digital a una velocidad de 64 Kbps, y los otros dos enlaces van de la oficina en México hacia el nodo central (D.F.) de la red Telepac, mediante un circuito digital a 64 Kbps y un circuito de microondas a 9600 bps.

Como puede observarse en la figura 2.7, la red lusanet realiza básicamente dos funciones: la primera es redireccionar parte de las llamadas de las agencias que accesan a la red Telepac hacia la red Infonet, a fin de descongestionar un poco el tráfico de llamadas recibidas por esta red; y la segunda es captar aquellas agencias de viajes que se encuentran en el interior del país en ciudades donde la red Telepac no tiene cobertura.

La principal desventaja que presenta el medio de transmisión de la red del sistema de tele-reservaciones, radica en el hecho de que los medios empleados no presentan el mismo avance tecnológico, provocando con ello un menor aprovechamiento de aquellos medios que nos permiten el manejo de altas velocidades, de transmisiones de información con un mínimo de error, etc.

Otro aspecto que cabe destacar es el relacionado con los enlaces que Telmex proporciona (microondas, líneas privadas y líneas telefónicas analógicas), ya que el servicio que proporciona la compañía telefónica en México, es deficiente. En el caso de los circuitos de microondas, que son los más empleados para enlazar los nodos de las redes, continuamente presentan averías que traen consigo la incomunicación del nodo afectado hacia la red pública de datos.

Respecto a las líneas privadas, el tiempo de espera que los usuarios (agencias de viajes) deben aguardar para obtener éstas es muy grande, la calidad de las líneas no siempre es la adecuada para transmitir datos y, cuando llegan a fallar, el tiempo de reparación puede variar desde una semana hasta meses. Y en temporadas de lluvia, éstas fallas se incrementan.

Otro de los inconvenientes que presenta la red, es el quedar aislada por completo cuando se llegan a presentar problemas en el nodo de Infonet México, ya que es el único punto de entrada/salida del sistema hacia los hosts y éste no dispone de un circuito digital de respaldo.

2.4 Protocolos de la red

Debido a que el sistema de tele-reservaciones está integrado por redes de comunicaciones de datos públicas, los protocolos que soporta la red, son todos los proporcionados por cada una de ellas. Sin embargo, los protocolos que emplea la red del sistema de tele-reservaciones son el X.25 y el asíncrono: X.3, X.28 y X.29. En la tabla 2.3 se muestran los protocolos ofrecidos por dichas redes; y en los apéndices son descritos estos ampliamente.

ANALISIS Y EVALUACION DE LA RED ACTUAL

RED	PROTOCOLOS SOPORTADOS
Infonet	TTY, Bisíncrono (BSC) 2780/3780, 3270, X.25, X.75, Asíncrono: X.3, X.28, X.29, TCP/IP, SNA, /SDLC, X.400, Frame Relay
Iusanet	X.25, X.75, Asíncrono: X.3, X.28, X.29, TCP/IP, HDLC, SNA, /SDLC, Frame Relay
Telepac	X.25, X.75, Asíncrono: X.3, X.28, X.29, TCP/IP, HDLC

TABLA 2.3 Protocolos soportados por las redes

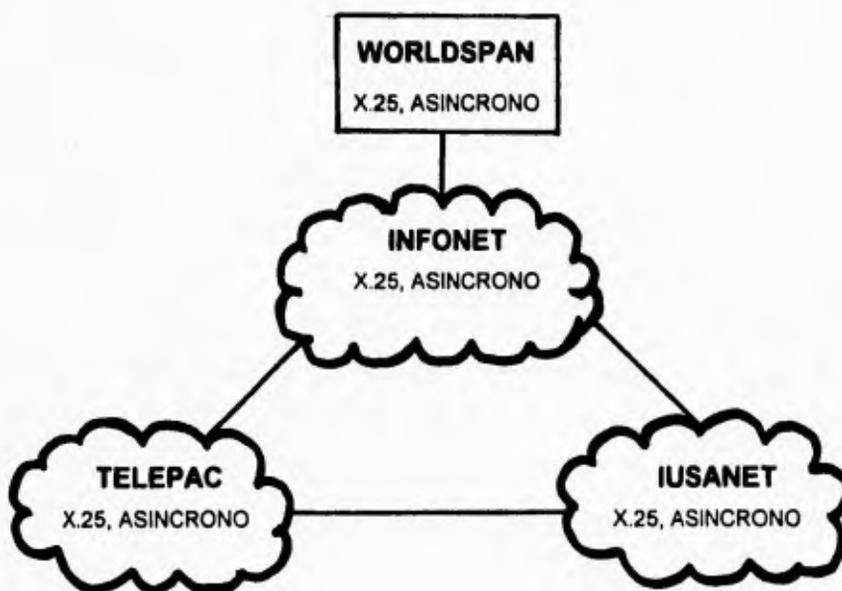


FIGURA 2.8 Protocolos de la red

2.5 Hardware de la red

2.5.1 Hardware de la red INFONET

El nodo de Infonet México, se encuentra instalado en el Distrito Federal, cuenta con un concentrador de comunicaciones Siemens modelo ANP 2540. Tiene una capacidad instalada de 40 puertos de baja velocidad (hasta 19.2 kbps cada uno) y 4 puertos de alta velocidad (hasta 64kbps), la cual puede expandirse hasta 120 puertos de baja velocidad o 44 puertos de alta velocidad; el tiempo de retraso máximo que se puede tener es de menos de 50 milisegundos cuando se tiene una utilización del concentrador del 50%; cada puerto soporta un máximo de 512 circuitos virtuales. La configuración de las tarjetas y, el control y monitoreo del equipo es por software. Este concentrador se enlaza a los Angeles, California (casa matriz de Infonet).

En cada nodo se cuenta con un modem a 9.6 Kbps con el cual se enlazan al Distrito Federal y con un PAD Memotec con una capacidad de 16 puertos, para proporcionar el servicio de red conmutada asíncrono. Los modems que se emplean para los enlaces asíncronos son de la marca Microcom y las velocidades que manejan van desde los 300 bps hasta los 2400 bps, permiten la degradación automática de la velocidad de transmisión y son de respuesta automática. En el Distrito Federal, se cuenta con 4 PADs para soportar este servicio. En la tabla 2.1 se muestra la cantidad de accesos de red conmutada con los que cuenta la red Infonet en México.

2.5.2 Hardware de la red TELEPAC

El centro de gestión de la red Telepac se encuentra en el Distrito Federal, cuenta con 8 conmutadores con una capacidad de 144 puertos y 4 concentradores que manejan 60 puertos cada uno; estos puertos pueden operar a velocidades de hasta 19.2 kbps, el máximo número de circuitos virtuales que soporta dicho equipo es de 128.

En el nodo de Monterrey se cuenta con un conmutador y tres concentradores, en Guadalajara se cuenta con un conmutador y dos concentradores y en el resto de los nodos se tiene un conmutador y un concentrador. Para el enlace satelital que se tiene entre los nodos ciudad de México-Guadalajara-Monterrey, se pueden soportar hasta 256 circuitos virtuales.

2.5.3 Hardware de la red IUSANET

Los concentradores de comunicación empleados por la red Iusanet manejan 16 puertos de usuario multiprotocolo con una velocidad de hasta 19.2 Kbps, los cuales son configurables por software, el número de circuitos virtuales que pueden aceptar es de 256. Estos concentradores, están dispuestos con dos puertos para las troncales a 64 Kbps. Los enlaces de radio con que cuenta son:

** Micro Link (9600 bps)*

Radio punto multipunto utilizado para efectuar enlaces síncronos y asíncronos como cajeros automáticos, correo electrónico, etc.

** Midi Link (19.2 Kbps)*

Radio punto multipunto utilizado para realizar enlaces síncronos y asíncronos, como medio de acceso a bases de datos, terminales punto de venta, enlaces de última milla a redes públicas de datos.

** Super Link (64 Kbps, microonda)*

Utilizado para efectuar enlaces de voz, datos e imagen. Algunas de sus aplicaciones son de transferencia de archivos, extensiones remotas del conmutador, enlaces de conmutador a conmutador, videoconferencia y envío de documentos por fax.

** Mega Link (2.048 Mbps, microonda)*

Este tipo de enlace es usado para efectuar todas las aplicaciones descritas anteriormente y adicionalmente tele-texto, video-texto y videoconferencia.

Alphabox:

El Alphabox, es un PAD de comunicaciones el cual soporta 8 puertos síncronos para usuarios, 4 puertos síncronos para troncales (hasta 64 Kbps), y 40 puertos asíncronos (hasta 9600 bps).

De lo anterior, se puede apreciar la diferencia del avance tecnológico que se tiene en las redes que componen el sistema de tele-reservaciones. Esto es un punto crítico en cualquier interconexión de redes, ya que la red de mayor cobertura es la que determina los límites de operación de la misma.

Uno de los aspectos básicos a considerar dado que las redes son de conmutación de paquetes es el número de circuitos virtuales que puede soportar el equipo de comunicaciones con el que cuenta cada una de ellas, la red de mayor cobertura a nivel nacional en nuestro caso es la red Telepac, pero también es la que maneja el menor número de circuitos virtuales y la que cuenta con el equipo más obsoleto.

Esto trae consigo la falta de aprovechamiento que las facilidades que ofrecen los equipos sofisticados empleados en las otras redes.

2.6 Cobertura de la red

La cobertura de la red del sistema de tele-reservaciones depende básicamente de la cobertura que proporcionan las redes de comunicaciones que la integran.

2.6.1 Cobertura de la red INFONET

La red Infonet tiene una cobertura muy amplia a nivel mundial, sin embargo a nivel nacional, ésta cuenta con tan solo cuatro nodos, los cuales se ubican como ya se mencionó anteriormente en las ciudades de Cancún, Distrito Federal, Guadalajara y Monterrey.



FIGURA 2.9 Cobertura nacional de la red INFONET

2.6.2 Cobertura de la red TELEPAC

La cobertura de la red Telepac cubre la mayor parte de la República Mexicana y tiene conexión con 29 redes internacionales en 20 diferentes países.



FIGURA 2.10 Cobertura nacional de la red Telepac

Dentro de las ciudades de:

Acapulco, Aguascalientes, Campeche, Cancún, Cd. Delicias, Cd. Juárez, Cd. Obregón, Cd. Victoria, Celaya, Chetumal, Chihuahua, Coatzacoalcos, Colima, Cuernavaca, Culiacán, Durango, Ensenada, Guadalajara, Guanajuato, Hermosillo, Jalapa, La Paz, León, Los Mochis, Manzanillo, Mazatlán, Mérida, Matamoros, Mexicali, D.F., Monclova, Monterrey, Morelia, Nogales, Nuevo Laredo, Oaxaca, Pachuca, Piedras Negras, Puebla, Puerto Vallarta, Querétaro, Reynosa, Saltillo, San Luis Potosí, Tampico, Tepic, Tijuana, Tlalnepantla, Tlaxcala, Toluca, Torreón, Tuxtla Gutiérrez, Veracruz, Villahermosa y Zacatecas.

2.6.3 Cobertura de la red IUSANET

La cobertura de la red lusonet está dividida en nueve áreas:

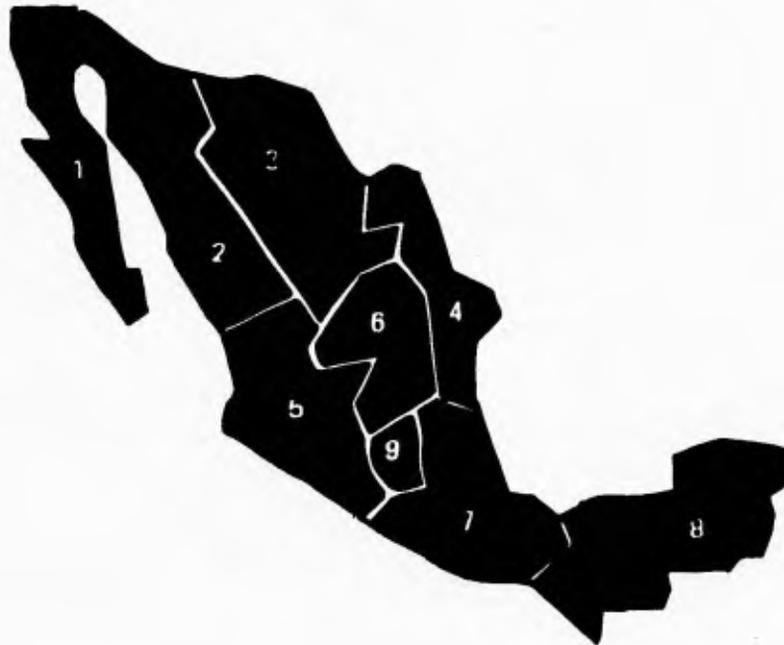


FIGURA 2.11 Cobertura de la red lusonet

AREA	CIUDADES
1	Ensenada, La Paz, Los Cabos, Mexicali, San Luis Río Colorado, Tijuana
2	Ciudad Obregón, Culiacán, Guamuchil, Guasave, Guaymas, Hermosillo, Los Mochis, Mazatlán, Navojoa, Nogales.
3	Ciudad Juárez
4	Ciudad Victoria, Matamoros, Monclova, Monterrey, Nuevo Laredo, Reynosa, Saltillo, Tampico
5	Colima, Guadalajara, Manzanillo, Puerto Vallarta, Morelia, Puerto Vallarta, Tepic, Uruapan, Zamora
6	Aguascalientes, Celaya, Fresnillo, Guanajuato, Irapuato, Lagos de Moreno, León, Querétaro, Salamanca, San Juan del Río, San Luis Potosí, Silao, Zacatecas.
7	Acapulco, Apizaco, Atlixco, Coatzacoalcos, Córdoba, Jalapa, Minaltlán, Oaxaca, Orizaba, Poza Rica, Puebla, Tehuacán, Tlaxcala, Tuxpan, Veracruz.
8	Campeche, Cancún, Chetumal, Mérida, Tapachula, Tuxtla Gutiérrez y Villahermosa
9	Ciudad de México, Cuernavaca, Pachuca, Pasteje y Toluca.

2.7 Acceso a la red

Actualmente, las agencias de viajes pueden acceder a la red a través de enlaces dedicados, o por medio de enlaces de red conmutada.

Para que las agencias de viajes puedan establecer comunicación con el sistema de tele-reservaciones, es necesario que estas cuenten con: una terminal de usuario o PC, una interface, un modem, y un medio de comunicación.

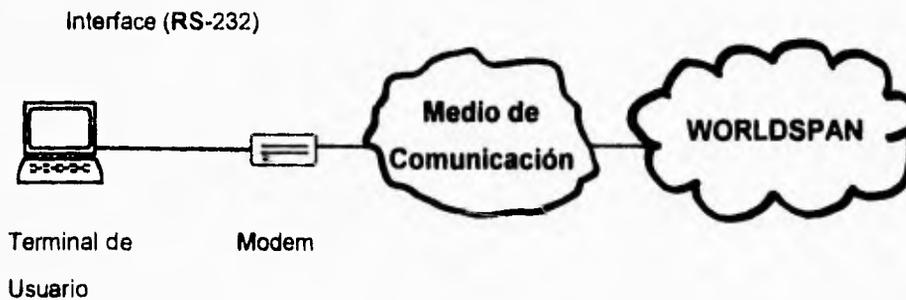


FIGURA 2.12 Elementos indispensables para acceder a la red

Enlaces de red conmutada

En los enlaces de red conmutada, las agencias de viajes cuentan con el equipo de comunicaciones mencionado en el párrafo anterior y se comunican al sistema de reservaciones a través de una línea telefónica (analógica, digital o celular) la cual pasa por centrales telefónicas públicas conmutadas. En este caso, las agencias de viajes son las encargadas de generar la llamada, esto se logra marcando el número telefónico asignado por cada red; los cuales a su vez tienen asociados a cada línea telefónica un modem remoto conectado a la red de datos (como se puede apreciar en

la figura 2.13a y 2.13b). La marcación puede ser manual o automática (por medio de software).

Una vez generada la llamada, y si los parámetros de comunicación (paridad, velocidad de transmisión, bits de parada, etc.) tanto de la terminal como del modem están bien configurados, se va a conseguir una conexión exitosa. La línea permanecerá ocupada únicamente el tiempo que dure la conexión; una vez terminada ésta, dicha línea podrá se empleada por otros usuarios. En cada nueva conexión que se realice entre la terminal del usuario y el modem remoto, la línea telefónica a través de la cual se conectan, será diferente a la del enlace anterior.

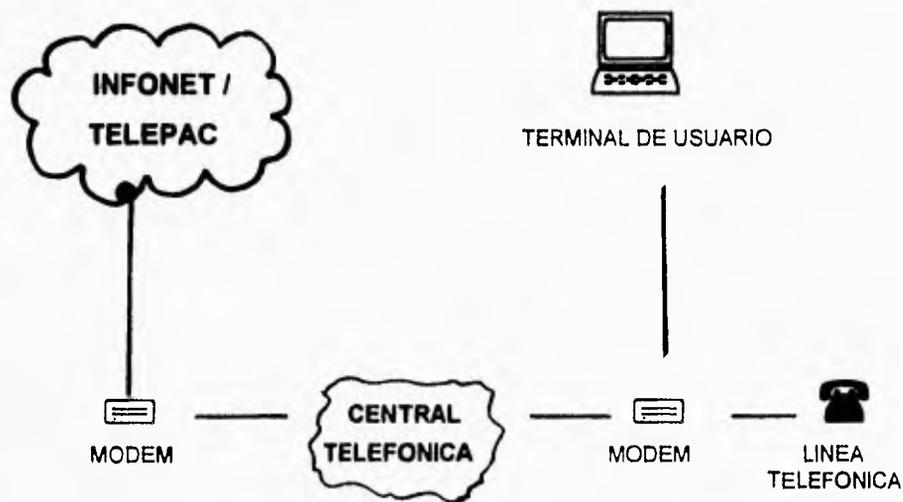


FIGURA 2.13a Enlace de red conmutada (digital/analógico)

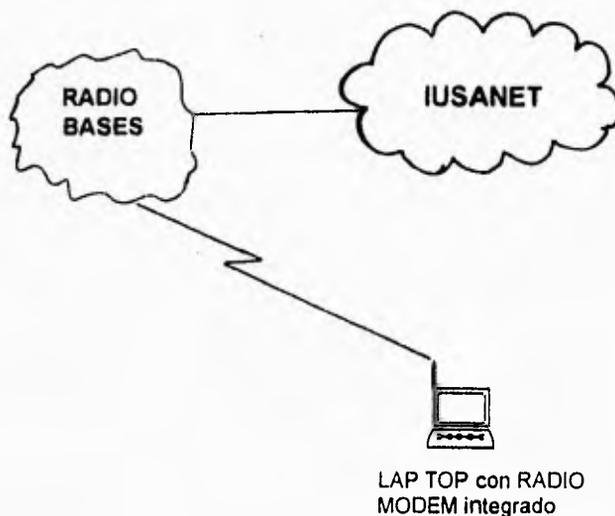


FIGURA 2.13b Enlace de red conmutada (celular)

Enlaces dedicados

Los enlaces dedicados o enlaces privados, son ideales para aquellos usuarios que desean tener un enlace exclusivo a la red, ya sea porque requieren estar conectados a la red largos periodos de tiempo, o bien porque en sus oficinas cuentan con muchas terminales las cuales requieren acceder constantemente al sistema.

Los enlaces dedicados proporcionan conexiones de tiempo completo y de alta calidad; ya que las líneas privadas no pasan por la central telefónica conmutada. Por lo general las transmisiones son más consistentes con respecto a las obtenidas con los enlaces de red conmutada. Cuando las agencias de viajes cuentan con un enlace dedicado, la conexión de estas hacia el sistema se realiza a través de líneas privadas analógicas

de dos o cuatro hilos (proporcionadas por Telmex) , o con circuitos de microondas (proporcionadas por Iusanet).

En este tipo de enlace, al igual que los enlaces de red conmutada, las agencias de viajes emplean el mismo equipo de comunicaciones; sin embargo, el usuario ya no genera la llamada, debido a que cuenta con líneas privadas que la compañía telefónica lleva desde la oficina del usuario hasta el extremo remoto para establecer una conexión directa entre el usuario y la red. En este caso, y una vez enlazados los modems que se tienen en ambos extremos, la agencia de viajes está lista para enviar o recibir información de manera continua y permanente. (ver figura 2.14)

En cuanto al costo de estas; la tarifa es mayor a la de la red conmutada, pero en el caso de los grandes usuarios, o de aquellos usuarios que manejan grandes volúmenes de información y/o requieren de largos periodos de conexión a la red, el costo se justifica.

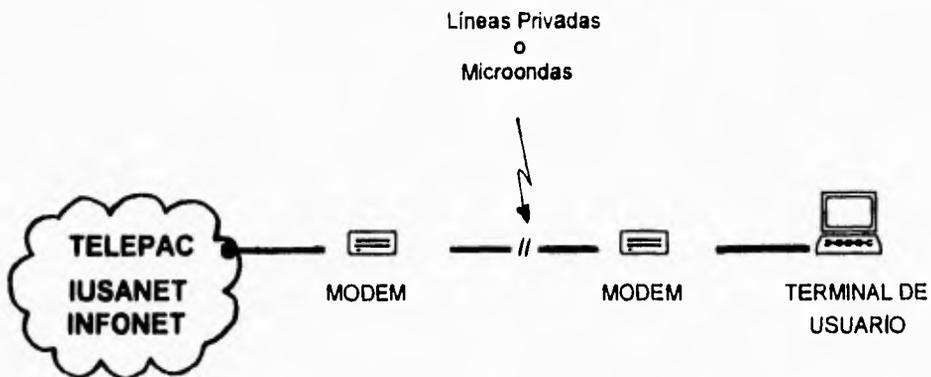


FIGURA 2.14 Enlaces dedicados

2.7.1 Acceso a la red INFONET

Las agencias de viajes accesan a la red Infonet únicamente por líneas telefónicas de red conmutada y las ciudades donde se cuenta con éste tipo de acceso se listan en la tabla 2.4.

CIUDAD	# de líneas de red conmutada	Tipo de línea	Velocidad de transmisión
Cancún	5	analógica	300-2400bps
Guadalajara	16	digital	300-2400bps
D.F.	32	digital	300-2400bps
Monterrey	6	analógica	300-2400bps

TABLA 2.4 Accesos de red conmutada de la red INFONET

2.7.2 Acceso a la red TELEPAC

La red Telepac proporciona los accesos de red telefónica conmutada y de enlaces dedicados en las siguientes ciudades:

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA RED ACTUAL

CIUDAD	# líneas de red conmutada	Tipo de línea	Velocidad de transmisión
Acapulco	13	Analógica	1200 bps
Aguascalientes	7	" "	" "
Campeche	3	" "	" "
Cancún	4	" "	" "
Celaya	5	" "	" "
Cd. Delicias	4	" "	" "
Coatzacoalcos	6	" "	" "
Colima	4	" "	" "
Cuernavaca	8	" "	" "
Cd. Juárez	4	" "	" "
Cd. Obregón	4	" "	" "
Cd. Victoria	7	" "	" "
Culiacán	9	" "	" "
Chetumal	3	" "	" "
Chihuahua	9	" "	" "
Distrito Federal	48	Digital	300 - 2400 bps
Durango	7	Analógica	1200 bps
Ensenada	4	" "	" "
Guadalajara	20	" "	" "
Guanajuato	4	" "	" "
Hermosillo	10	" "	" "
Jalapa	4	" "	" "
La Paz	4	" "	" "
León	8	" "	" "
Los Mochis	3	" "	" "
Manzanillo	4	" "	" "
Matamoros	8	" "	" "
Mazatlán	8	" "	" "
Mérida	9	" "	" "
Mexicali	8	" "	" "
Monclova	6	" "	" "
Monterrey	36	" "	" "
Morelia	8	" "	" "
Nogales	4	" "	" "
Nuevo Laredo	8	" "	" "
Oaxaca	9	" "	" "
Pachuca	9	" "	" "

TABLA 2.5 Red conmutada de la red TELEPAC

CIUDAD	# líneas de red conmutada	Tipo de línea	Velocidad de transmisión
Piedras Negras	2	Analógica	1200 bps
Puebla	25	" "	" "
Puerto Vallarta	5	" "	" "
Querétaro	12	" "	" "
Reynosa	2	" "	" "
Saltillo	6	" "	" "
San Luis Potosí	4	" "	" "
Tampico	6	" "	" "
Tepic	4	" "	" "
Tijuana	4	" "	" "
Tlalhepantla	12	" "	" "
Toluca	4	" "	" "
Tlaxcala	4	" "	" "
Torreón	4	" "	" "
Tuxtla Gutiérrez	4	" "	" "
Veracruz	21	" "	" "
Villa Hermosa	10	" "	" "
Zacatecas	5	" "	" "

TABLA 2.5 Red conmutada de la red TELEPAC

2.7.3 Acceso a la red IUSANET

La red Iusanet al igual que la red Telepac, proporciona enlaces dedicados y de red conmutada; la cantidad de números telefónicos de red conmutada que ofrece es variable, ya que en las ciudades de mayor demanda, se cuenta hasta con 32 líneas, mientras que en los de menor demanda se cuenta con 2 o 4 números. En todas las ciudades listadas a continuación, se cuenta con ambos tipos de acceso:

Ensenada, La Paz, Los Cabos, Mexicali, San Luis Río Colorado, Tijuana, Cd. Obregón, Culiacán, Guamuchil, Guasave, Guaymas, Hermosillo, Los Mochis, Mazatlán, Navjoa, Nogales, Cd. Juárez, Cd. Victoria, Matamoros, Monclova, Monterrey, Nuevo Laredo, Reynosa, Saltillo, Tampico, Colima, Guadalajara, Manzanillo, Morelia, Puerto Vallarta,

Tepic, Uruapan, Zamora, Aguascalientes, Celaya, Fresnillo, Guanajuato, Irapuato, Lagos de Moreno, León, Querétaro, Salamanca, San Juan del Río, Silao, Zacatecas, Acapulco, Apizaco, Atlixco, Coatzacoalcos, Córdoba, Jalapa, Minatitlán, Oaxaca, Orizaba, Poza Rica, Puebla, Tehuacán, Tlaxcala, Tuxpan, Veracruz, Campeche, Cancún, Chetumal, Mérida, Tapachula, Tuxtla Gutiérrez, Villa Hermosa, Cd. de México, Cuernavaca, Pachuca, Pasteje y Toluca.

Como se observa, las tres redes de datos públicas, brindan diversos tipos de acceso a la red; sin embargo el más común es el de red conmutada.

Actualmente todas ellas cuentan con la infraestructura para proporcionar este tipo de servicio, pero con el incremento en el número de usuarios que desean acceder a la red, éste se ha vuelto insuficiente.

2.8 Demanda del servicio de reservaciones a nivel nacional

A continuación se muestra en la tabla 2.6 la distribución de las agencias de viajes que accesan diariamente al sistema de tele-reservaciones a lo largo del territorio nacional; como se puede observar, no es uniforme y hay puntos en donde la concentración de agencias es superior al número de líneas con las que cuenta cada red y por lo tanto el servicio tiende a ser ineficiente

Como puede observarse en la gráfica de la figura 2.15, las ciudades que presentan mayor demanda del servicio son:

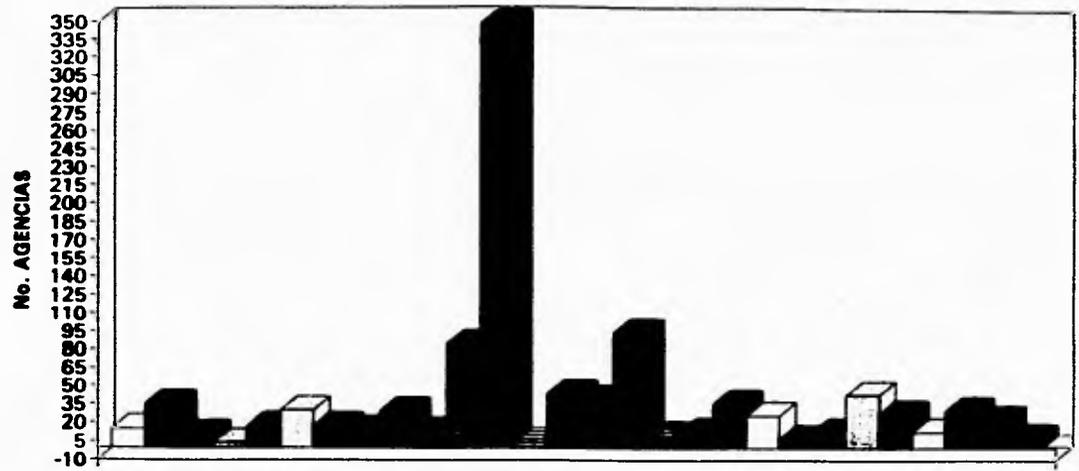
Distrito Federal 348, Nuevo León 95, Jalisco 85, Michoacán 44, Sinaloa 43, Nayarit 40, Puebla 36, Baja California Norte 35, Chihuahua 30, Veracruz 30, Guanajuato 29, Querétaro 26.

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA RED ACTUAL

# Agencias de Viajes	Estado	Ciudades
15	Aguascalientes	Aguascalientes
35	Baja California Norte	Tijuana, Mexicali
11	Baja California Sur	La Paz, San Lucas
4	Campeche	Campeche
17	Chiapas	Tuxtla Gutiérrez
30	Chihuahua	Chihuahua
17	Colima	Colima
348	Distrito Federal	Distrito Federal
14	Durango	Durango
29	Guanajuato	León, San Miguel de Allende
13	Guerrero	Acapulco, Iguala
85	Jalisco	Guadalajara, Zapopan
5	México	Toluca
44	Michoacán	Morelia
40	Nayarit	Tepic
95	Nuevo León	Monterrey
10	Morelos	Cuernavaca, Cuautla
13	Oaxaca	Oaxaca
36	Puebla	Puebla, Cholula
26	Querétaro	Querétaro
7	Quintana Roo	Chetumal
13	San Luis Potosí	San Luis Potosí
43	Sinaloa	Mazatlán
27	Sonora	Hermosillo
13	Tabasco	Villa Hermosa
30	Veracruz	Coatzacoalcos, Jalapa
23	Yucatán	Mérida
8	Zacatecas	Zacatecas

TABLA 2.6 Distribución de las Agencias de Viajes en la República Mexicana

DISTRIBUCIÓN DE LAS AGENCIAS DE VIAJES EN LA REPÚBLICA MEXICANA



Agua Calientes	BCN	BCS	Campeche	Chiapas	Chihuahua
Colima	Durango	Guanejusto	Guerrero	Jalisco	D.F.
México	Michoacán	Nayarit	Nvo. León	Morelos	Oaxaca
Puebla	Queretaro	Q.Roo	SLP	Sinaloa	Sonora
Tabasco	Veracruz	Yucatán	Zacatecas		

FIGURA 2.15 Distribución de las Agencias de Viajes en el Territorio Nacional

2.9 Ventajas y Desventajas de la red actual

Una vez descrita la red actual podemos realizar una evaluación de las ventajas y desventajas que nos presenta ésta.

2.9.1 Ventajas

- **Reducción de los costos de telecomunicaciones**

Al estar la red soportada por tres redes de comunicaciones de datos públicas, ya no es necesario construir el backbone de la red, porque éste es proporcionado por dichas redes, lo cual reduce los costos de inversión en telecomunicaciones.

- **Reducción de Llamadas de Larga Distancia.**

Como las tres redes de comunicaciones de datos ofrecen servicios de red conmutada en las ciudades más importantes de la República Mexicana, las llamadas que efectúan las agencias de viajes para enlazarse a la red son en la mayoría (Telepac e Infonet) locales, lo cual reduce considerablemente el costo que generan las llamadas de larga distancia.

- **Conectividad de la red**

Ya que la red Infonet es una red de comunicación de datos mundial permite la conexión entre los nodos de Atlanta y Kansas en Estados Unidos con su filial en México.

2.9.2 Desventajas

- **Aislamiento de la Red**

La entrada y/o salida de la red del sistema de tele-reservaciones hacia sus hosts es a través de la red Infonet, y ya que esta no cuenta con un enlace digital de respaldo, provoca aislamiento total entre las agencias de viajes y los hosts, cuando se presentan fallas o averías en el enlace.
- **Congestionamiento de la Red**

Al ser la red centralizada, toda la información es concentrada en el Distrito Federal, lo cual ocasiona congestión en todas las redes, ya los usuarios enlazados desde cualquier punto de la República Mexicana deben ser enrutados hacia el Distrito Federal para poder acceder a las bases de datos de los hosts de Atlanta y Kansas.
- **Tiempos de Respuesta Grandes**

En las horas pico, y dado el incremento de agencias de viajes que demandan el servicio de reservaciones, se llegan a presentar tiempos de respuesta muy grandes que lejos de hacerle al agente de viajes la ejecución de su trabajo más fácil y rápida, ésta se vuelve tediosa y poco eficiente.
- **Disponibilidad de los enlaces de red conmutada**

Cada red ofrece de forma independiente, enlaces de red conmutada a sus usuarios; sin embargo la cantidad de líneas con la que cuenta cada una de ellas ya no logra satisfacer la demanda requerida por las agencias de viajes y por los usuarios propios de la red. Esto trae como consecuencia que el acceso a la red sea más difícil.

- **Falta de Compatibilidad de Tecnologías**

Ya que los medios de transmisión usados por las tres redes que integran la red del sistema de tele-reservaciones, así como el hardware empleado difieren entre sí considerablemente, siendo la red de Telepac la que tiene la mayor cobertura a nivel nacional, pero a la vez la que presenta el menor avance tecnológico y dado que estas redes están interconectadas entre sí, no se permite aprovechar al máximo los recursos tecnológicos con la que cuentan las otras dos redes. Hecho que se ve reflejado en la operación y funcionamiento de la red, ya que pesar de contar las otras redes con una mejor tecnología y ofrecer un mejor servicio, ésto casi se nulifica al no ser compatible con la red Telepac.

- **Dependencia de Telmex para enlazarse a los nodos de la red**

Telmex es la compañía telefónica que proporciona la mayor cobertura a nivel nacional de líneas privadas así como líneas telefónicas; pero el tiempo que deben esperar las agencias de viajes para que les sean instaladas sus líneas privadas en el caso de querer contar con un enlace dedicado, son muy grandes, y van desde 3 meses hasta un año.

En lo referente al servicio que proporciona la compañía telefónica tanto al usuario como a los circuitos, éste suele ser muy ineficiente. Y como los circuitos de microondas (empleados para enlazar los nodos), así como las líneas telefónicas analógicas y las líneas privadas son proporcionadas por la compañía telefónica, cuando se tienen averías en éstas (las cuales se incrementan notablemente en temporada de lluvias), el tiempo de reparación es de no menos de tres días y en algunos casos de meses, y la calidad de la líneas en muchas ocasiones no es la adecuada para la transmisión de datos, lo cual ocasiona que nodos y usuarios queden fuera de operación, muchas veces por largos periodos de tiempo.

- **Desconexión de la red**

En el caso de los enlaces de red conmutada con celulares, los usuarios experimentan microcortes de la llamada cuando envían bloques de información largos; los cuales serían imperceptibles por las líneas telefónicas analógicas, pero en este caso, se traducen en una desconexión de la red. Esto provoca la pérdida de comunicación con la red implicando con ello que el usuario deba reconectar a la red para reenviar la información deseada, la cual en la mayoría de los casos suele perderse al momento de ocurrir el micocorte.

- **Incremento de los Tiempos de Conexión de las Agencias de Viajes a la Red**

Debido al incremento del número de agencias de viajes que hacen uso del servicio de reservaciones y a que la cantidad de enlaces de red conmutada con la que se dispone es menor a la demandada, ahora les lleva más tiempo a las agencias de viajes poder conectarse a la red; esto ha traído como consecuencia que las agencias de viajes una vez que logran enlazarse a la red permanezcan más tiempo adentro del sistema y no liberen la llamada aún cuando no estén haciendo uso del sistema, porque saben que si se desconectan les será difícil acceder nuevamente a la red.

CAPITULO 3

REQUERIMIENTOS DE LA RED



3. REQUERIMIENTOS DE LA RED

La red de datos se diseña para cubrir una necesidad y, por lo tanto, la función técnica de ésta debe estar en función de los requerimientos solicitados por el usuario. Por tal motivo, la compañía de tele-reservaciones, desea que el servicio que brinda a sus usuarios sea eficiente, confiable y preciso.

Tratando en lo posible, de que cada agencia de viajes pueda acceder y consultar las grandes bases de datos que conforman el sistema de tele-reservaciones, como si fuese el único usuario que está accedando y trabajando en el sistema.

Como ya se discutió en los capítulos anteriores, la estructura de la red actual en un principio fué buena; ya que la infraestructura en la que estaba soportada era capaz de satisfacer tanto la demanda de las agencias de viajes, como la de los usuarios propios de cada una de las redes que integran la red del sistema de tele-reservaciones.

Sin embargo, en la actualidad, se ha incrementado considerablemente tanto la demanda de las agencias de viajes que utilizan el servicio de reservaciones, como la de aquellos usuarios que requieren de los servicios proporcionados por las redes de datos públicas; y si a ésto agregamos la falta de compatibilidad y avance tecnológico en el que se encuentran las redes que conforman al sistema de tele-reservaciones; nos resulta que la eficiencia, la precisión y la confiabilidad del servicio que se les ofrece a las agencias de viajes, tiende a deteriorarse porque la infraestructura de la red ya no satisface la demanda actual.

Como el objetivo primordial de la compañía de reservaciones es brindar el mejor de los servicios por sobre todas las cosas, los dueños del sistema han decidido crear una red

REQUERIMIENTOS DE LA RED

propia, la cual haga uso de los medios tecnológicos de comunicación más avanzados con que se cuente en el país para poder estructurarla. La planeación de ésta deberá hacerse de manera tal que satisfaga y soporte la demanda de las agencias de viajes en un periodo mínimo de dos años, y considere que en caso de un crecimiento mayor al esperado por ellos en los próximos dos años, ésta pueda expandirse fácilmente, con una mínima inversión.

Ahora bien, en las páginas siguientes, comenzaremos a definir los parámetros que se deben tener en cuenta en el diseño de la nueva red, para satisfacer los requerimientos solicitados por los dueños del sistema.

3.1 Tipo de Red

La configuración de la red actual como ya se discutió en el capítulo anterior es híbrida; descentralizada para la captación de las agencias ubicadas a lo largo del territorio nacional y área metropolitana y centralizada para la comunicación hacia los hosts de Atlanta y Kansas. El único punto de conexión que se tiene hacia éstos se encuentra en el Distrito Federal y es donde se concentra toda la información para posteriormente enviarla y/o recibirla hacia los hosts.

Debido a la experiencia que han tenido los dueños del sistema de tele-reservaciones con la red y a los inconvenientes que les ha presentado la configuración actual de ésta, han decidido considerar la creación de una nueva red la cual elimine o disminuya dichos inconvenientes.

Los dueños del sistema tienen contemplado el diseño de la red en una serie de etapas. La primera iniciará la operación de la red con tres nodos en la República Mexicana en las ciudades de mayor demanda del servicio y, un cuarto nodo, en la ciudad de Atlanta, Georgia, en los Estados Unidos de Norteamérica, que es el sitio donde se localiza el host principal del sistema.

La expansión de la red se hará paulatinamente en un periodo de dos años, hasta cubrir por completo el territorio nacional; logrando con ello brindar el servicio de reservaciones a la mayor parte de las agencias de viajes del interior del país. Se pretende que cada uno de los nodos de México se enlace vía satélite hacia el host de Atlanta y se tenga además, un enlace de respaldo, sea éste de microondas, fibra óptica o bien proporcionado por la RDI (ver figura 3.1). El fin de contar con ambos enlaces es proporcionarle redundancia a la red, y en caso de falla de alguno de ellos, ya sea el satelital o el de fibra, puedan conmutarse de manera tal, que el cambio de un

medio a otro sea transparente para el usuario, y con ello obtener una disponibilidad del servicio del 99%.

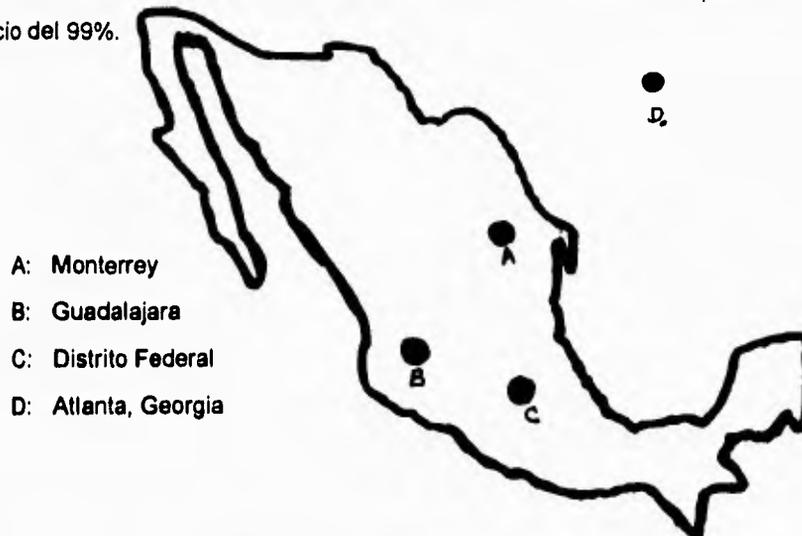


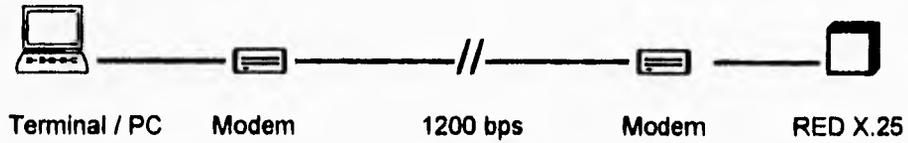
FIGURA 3.1 Nodos de la Red etapa Inicial

3.2 Medio de Transmisión

La selección del medio de transmisión es uno de los puntos más críticos, ya que gran parte de la eficiencia y confiabilidad de la red depende del medio elegido. Los dueños del sistema de tele-reservaciones están conscientes de esto y por lo tanto quieren que la nueva red sea implementada con la mejor tecnología de punta con que se disponga actualmente en el país. Por ello han decidido que la nueva red cuente con un enlace vía satélite para enlazar los hosts de Atlanta y Kansas, con los nodos ubicados en el territorio nacional.

El medio de transmisión que se seleccione para el enlace de respaldo, deberá ser capaz de soportar la demanda de tráfico de las agencias de viajes; el modo de transmisión half duplex y full-duplex, soportar altas velocidades de transmisión, y ser eficiente y confiable.

Transmisión Actual



Transmisión Deseada

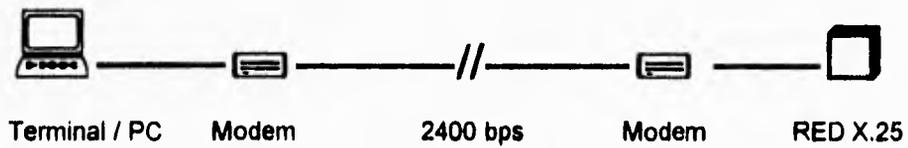


FIGURA 3.2 Transmisión de las Agencias de Viajes a la Red

Los dueños quieren que se eviten al máximo el uso de enlaces analógicos, ya que además de causarles transmisiones deficientes y poco confiables, el tiempo de espera para que la compañía telefónica realice la instalación y/o reparación de los mismos es muy grande.

Actualmente, la mayor parte de las agencias operan a velocidades del orden de los 1200 bps; sin embargo, se desea estandarizarlas primeramente a 2400 bps y conforme se cuente en el país con un mejor servicio y calidad de las líneas de transmisión (privadas o telefónicas), o se logren nuevos avances tecnológicos, sea factible incrementar la velocidad de transmisión de datos de las agencias de viajes y aprovechar los beneficios implícitos de una manera fácil, sin que esto implique el rediseño completo de la red para adaptarse a la nueva tecnología, lo cual se traduciría en un gasto extra que en muchas ocasiones sobrepasa al estipulado en el diseño inicial.

3.3 Tráfico de la red

El sistema de tele-reservaciones, cuenta con grandes bases de datos, del orden de los 2,400 Gigabytes, los cuales están a la disposición de cada una de las agencias de viajes, para que el agente de viajes pueda desarrollar su trabajo de manera fácil y rápida.

El volumen de tráfico de información que las agencias de viajes manejan cuando usan el sistema de tele-reservaciones es muy bajo, y esto es debido a que el agente de viajes usa las bases de datos básicamente para consultar la información contenida en éstas, y la cantidad de información que éste procesa es mínima, por ejemplo: si un viajero planea realizar un viaje de placer a Cancún, viajando en avión, hospedarse una semana en un hotel de lujo y alquilar un automóvil durante su estancia, entonces el agente de viajes procederá a consultar la base de datos de boletaje de las líneas aéreas, de las cadenas hoteleras y de las arrendadoras de automóviles.

El promedio de transmisiones será del orden de 8 transmisiones por reservación, en el caso de la reservación del boleto de avión, dentro de la información que se transmite

tenemos datos tales como: el nombre del usuario, ciudad o país de procedencia, ciudad o país destino, el nombre y la clave de la aerolínea, la clase y número de vuelo, la fecha y hora de salida del vuelo, el número de lugar y la sección que ocupará el pasajero. De manera similar se efectúan las reservaciones del hotel y la renta del automóvil.

Como puede apreciarse, el tráfico de información es bajo, cada reservación ocupa en promedio unos 650 bytes; actualmente cada agencia de viajes maneja un promedio mensual de 2.5 Megabytes. Dado que el volumen de tráfico promedio mensual por agencia se puede considerar que es un tanto variable, se desea que se considere un margen del diez por ciento más para considerar los periodos de temporadas altas de las agencias de viajes, en donde se incrementa notablemente el volumen de tráfico de información.

3.4 Tiempos de Conexión

El sistema de tele-reservaciones actualmente proporciona el servicio de reservaciones las 24 horas del día. Sin embargo, la gran mayoría de las agencias de viajes brindan servicio a los viajeros únicamente de lunes a sábado y solo unas cuantas trabajan todos los días. Las agencias de viajes suelen hacer uso del servicio de reservaciones en un horario comprendido entre las diez de la mañana y las seis o siete de la noche, de lunes a viernes y, algunas trabajan sábados y domingos de las diez u once de la mañana a las dos de la tarde.

Como en todo sistema que maneja conexiones multiusuario, se tienen "horarios pico" es decir, aquellos periodos de tiempo en donde se tiene la mayor de cantidad de conexiones simultáneas, debido a que todos los usuarios desean conectarse al sistema y trabajar en él. Actualmente, el sistema de tele-reservaciones experimenta

dos horarios pico, los cuales abarcan el primer periodo de las once de la mañana a la una y media de la tarde, y el segundo que inicia a las cuatro y media de la tarde y finaliza a las siete de la noche.

Inicialmente, el tiempo de conexión de las agencias de viajes era bajo, y esto se debía a que la cantidad de usuarios que accedían simultáneamente a la red era menor al número de accesos de red conmutada con que se disponía. Los usuarios accedían fácil y rápidamente al sistema, por lo cual se conectaban únicamente cuando lo requerían.

Sin embargo, en los últimos meses se ha incrementado considerablemente la cantidad de usuarios que desean emplear el servicio de reservaciones, y esto ha traído consigo que a los usuarios les sea difícil acceder rápidamente a la red, ya que la demanda del servicio por parte de las agencias de viajes, es mayor a la infraestructura con que se cuenta. Si anteriormente se conectaban al tercer intento y entre cada intento había un periodo de cinco minutos, ahora los usuarios saben que se pueden llevar más de tres horas para lograr conectarse a la red, motivo por el cual los usuarios una vez que logran conectarse a la red, no liberan la llamada hasta que finalizan sus horas de trabajo, quedándose adentro del sistema inclusive las ocho o diez horas que laboran diariamente aunque solo realicen unas cuantas reservaciones, disminuyendo con ello la probabilidad de que otros usuarios que realmente requieran hacer uso del sistema logren su objetivo.

Los dueños del sistema de tele-reservaciones considerando las experiencias sufridas al respecto, desean que en el diseño de la nueva red, se tomen las medidas necesarias para poder brindar un buen servicio en el horario pico y que los usuarios

trabajen en estos horarios como si ellos fueran los únicos que están conectados a la red y de esta manera reducir las molestias que están experimentando actualmente.

Ellos han observado que si el agente de viajes sabe que puede acceder fácilmente a la red, se conecta a ésta únicamente el tiempo necesario para consultar las bases de datos o efectuar la reservación elevando con ello la disponibilidad de la red.

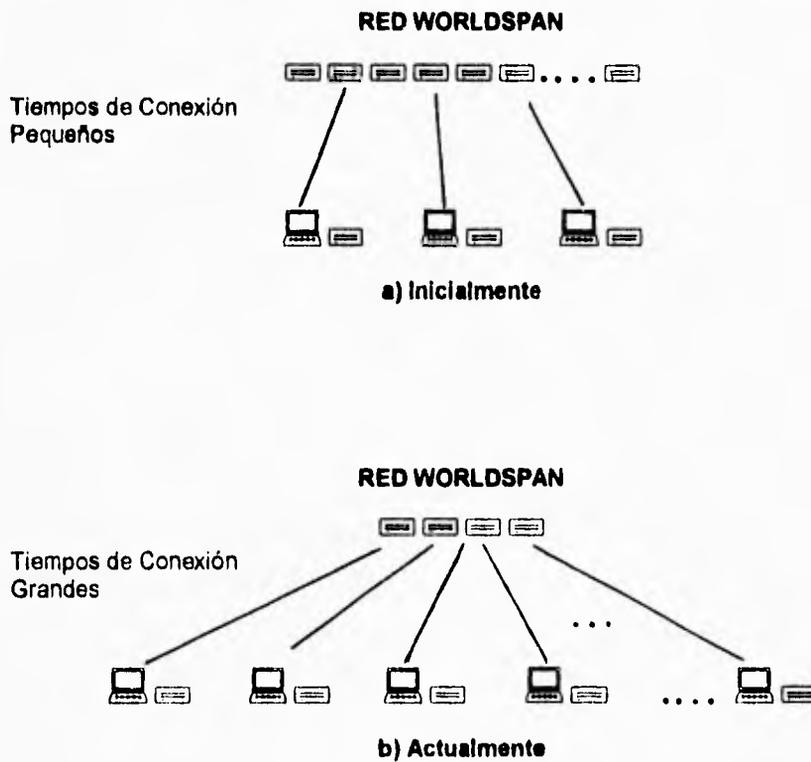


FIGURA 3.3 Tiempos de Conexión de las Agencias de Viajes

3.5 Número de Conexiones

Otro punto importante a considerar en el diseño de la red es la cantidad de usuarios que deberá ser capaz de soportar.

Cuando se hace el diseño de cualquier red, es necesario tomar en cuenta la cantidad de usuarios que van a estar accediendo a ésta, esto es con el fin de optimizar los recursos de la red tratándose de adecuar en lo posible a las necesidades que requiera el servicio que va a proporcionar. Por ejemplo, se pueden construir redes muy grandes que resultarán muy costosas y que van a soportar a unos cuantos usuarios o por el contrario, la demanda del servicio es considerablemente grande, la construcción de la red fué económica, pero tan pequeña, que en un periodo máximo de tres meses, ya no es capaz de soportar ni el ochenta por ciento del número de usuarios que requieren ocupar los servicios de la red. También debe tenerse presente si se tiene contemplada o no alguna expansión futura de la red, y si ésta va a ser a corto, mediano o largo plazo. En lo posible, el diseño de la red debe ser flexible, considerando siempre la posibilidad de una expansión, ya sea grande o pequeña.

Actualmente, la red está manejando un promedio de 80 conexiones simultáneas (circuitos virtuales) en el horario normal y en el horario pico, se tienen alrededor de 256 conexiones. Sin embargo, debido al aumento de las agencias de viajes que acceden a la red, ésta resulta ineficiente para darle el soporte a todas las llamadas que entran, lo cual ha propiciado que los usuarios reciban mensajes de congestión de la red, o que sus llamadas sean rechazadas y no logren acceder fácilmente a ésta.

La nueva red deberá contar con una infraestructura que soporte al menos unas 300 conexiones simultáneas. Pero considerando los planes de expansión previstos por los

dueños del sistema de tele-reservaciones, dicha capacidad deberá incrementarse hasta 512 conexiones simultáneas.

Por lo cual deberá tomarse en cuenta la capacidad requerida, para efectuar una buena elección de la selección del equipo de comunicaciones (PADs, modems, concentradores, etc.) que se adquiera, el cual se instalará en los nodos principales. La cantidad de equipo de comunicaciones que se compre también se hará en proporción al número de usuarios que soportará cada nodo, tratando de que la carga esté balanceada en cada nodo.

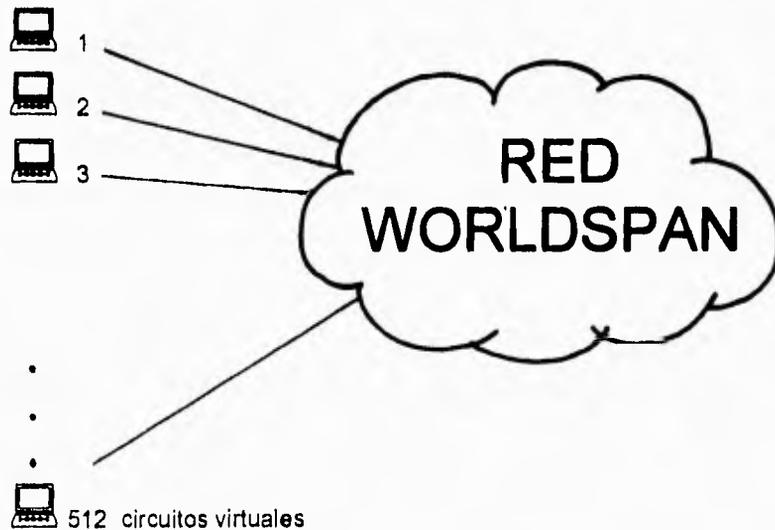


FIGURA 3.4 Infraestructura de la red del sistema de Tele-reservaciones

El equipo de comunicaciones que se seleccione debe ser en lo posible equipo que además de cubrir con las especificaciones requeridas por la red, sea compatible con el hardware de la red, esté homologado y se cuente con el soporte del proveedor para prevenir el tener que comprar el equipo completo en caso de falla, mal funcionamiento del equipo o de una expansión futura. Cabe aclarar que debe tenerse en todo momento presente, la prioridad y jerarquía que el equipo mantendrá dentro de la red, ya que ningún componente está exento de sufrir algún daño o avería en su buen funcionamiento.

Para evitar dejar inactiva e inoperante a la red por largos periodos de tiempo, es necesario contar con equipo de respaldo, el cual se basará en la jerarquía de prioridad que maneje la red.

3.6 Interfaces

Otro punto importante es manejar el mismo tipo de interfaces en la red, tratando de evitar usar cables especiales que en ocasiones resulta difícil conseguir en el mercado nacional, o si se consiguen su costo es muy elevado. Por lo cual se decidió que en todas las agencias de viajes la terminal o PC sea conectada al modem mediante cables de interface RS-232. En los nodos de la red, los modems que se tengan también serán conectados a los PADs por medio de cables RS-232. Y en el caso de la interconexión de los nodos y el enlace de satélite se hará uso de las interfaces más comerciales que puedan adquirirse fácilmente en el mercado nacional.

Interface RS-232C (CCITT V.24 / ISO 2110)

Una de las interfaces más difundida para enlazar equipos en transmisiones de datos, se llama RS-232C (nomenclatura americana) o CCITT V.24 (nomenclatura internacional).

El equipo de comunicaciones que se seleccione debe ser en lo posible equipo que además de cubrir con las especificaciones requeridas por la red, sea compatible con el hardware de la red, esté homologado y se cuente con el soporte del proveedor para prevenir el tener que comprar el equipo completo en caso de falla, mal funcionamiento del equipo o de una expansión futura. Cabe aclarar que debe tenerse en todo momento presente, la prioridad y jerarquía que el equipo mantendrá dentro de la red, ya que ningún componente está exento de sufrir algún daño o avería en su buen funcionamiento.

Para evitar dejar inactiva e innoperante a la red por largos periodos de tiempo, es necesario contar con equipo de respaldo, el cual se basará en la jerarquía de prioridad que maneje la red.

3.6 Interfaces

Otro punto importante es manejar el mismo tipo de interfaces en la red, tratando de evitar usar cables especiales que en ocasiones resulta difícil conseguir en el mercado nacional, o si se consiguen su costo es muy elevado. Por lo cual se decidió que en todas las agencias de viajes la terminal o PC sea conectada al modem mediante cables de interface RS-232. En los nodos de la red, los modems que se tengan también serán conectados a los PADs por medio de cables RS-232. Y en el caso de la interconexión de los nodos y el enlace de satélite se hará uso de las interfaces más comerciales que puedan adquirirse fácilmente en el mercado nacional.

Interface RS-232C (CCITT V.24 / ISO 2110)

Una de las interfaces más difundida para enlazar equipos en transmisiones de datos, se llama RS-232C (nomenclatura americana) o CCITT V.24 (nomenclatura internacional).

REQUERIMIENTOS DE LA RED

Consiste en la disposición de 25 circuitos de intercambio con una función en cada uno.

No. Pin	Circuito	Descripción
1	AA	Protective Ground
2	BA	Transmitted Data
3	BB	Received Data
4	CA	Request to Send
5	CB	Clear to Send
6	CC	Data Set Ready
7	AB	Signal Ground
8	CF	Received Line Signal Detector
9	-	Reserved for Testing
10	-	Reserved for Testing
11	-	Unassigned
12	SCF	Sec.Received Line Signal Detector
13	SCB	Secondary Clear to Send
14	SBA	Secondary Transmitted Data
15	DB	Transmitted Signal Element Timing
16	SBB	Secondary Received Data
17	DD	Receiver Signal Element Timing
18	-	Unassigned
19	SCA	Secondary Request to Send
20	CD	Data Terminal Ready
21	CG	Signal Quality Detector
22	CE	Ring Indicator
23	CH/CI	Data Signal Rate Selector
24	DA	Transmit Signal Element Timing
25	-	Unassigned

INTERFACE RS - 232 C

Dentro de las características funcionales de la interface RS-232C, destacan las siguientes:

- Transferencia de datos a través de la interface
- Control de las diversas señales en la interface
- Proporcionar las señales de sincronización que regulan la transferencia de bits.
- Referencia de la señal eléctrica.

Circuitos de intercambio de datos

- **TD (Transmitted Data - Transmisión de datos)**
- **RD (Received Data - Recepción de datos)**

Estos son los más importantes, ya que representan la información que deseamos transmitir.

Circuitos de control de intercambio

- **RTS (Request to Send - Petición de emisión)**
- **CTS (Clear to Send - Preparado para transmitir)**
- **DSR (Data Set Ready - Modem preparado)**
- **DCD (Data Carrier Detect - Detector de Portadora)**
- **DTR (Data Terminal Ready - Terminal de datos preparado)**
- **RI (Ring Indicator - Indicador de llamada)**

Estos circuitos permiten establecer y controlar el enlace y la transferencia de información entre un equipo terminal de datos (DTE) y un equipo de comunicación de datos (DCE), estableciendo la llamada y el control de la señal portadora en el medio de enlace.

Circuitos de sincronización

En una transmisión en modo síncrono, es necesario el uso de señales de reloj para regular la cadencia de la información.

- **TC (Transmitter Clock - Reloj de transmisión)**
- **RC (Receiver Clock - Reloj de recepción)**
- **ETC (External Transmitter Clock -Reloj de transmisión externo)**

Estas señales se encargan de mantener perfectamente sincronizados al transmisor y al receptor, permitiendo el correcto muestreo de la señal y evitando errores, además de temporizar las señales de datos.

Circuitos de referencia

- GND (Protective Ground - Tierra de protección)
- SG (Signal Ground - Tierra de referencia)

El pin (patilla) 1, conectada al chasis del equipo, sirve de protección, tanto eléctrica como electromagnética.

Todas las señales tienen como referencia el pin 7 del conector.

La norma RS-232C está limitada a velocidades de 20 kbps y a una separación máxima entre DTE y DCE de 15 metros, con una señal poco inmune a las interferencias exteriores.

Dentro de las características eléctricas de ésta interface podemos mencionar que la impedancia del lado de la carga debe tener una resistencia R_o de valor comprendido entre 3000 y 7000 ohms; la capacidad en paralelo, asociada con la carga, no debe exceder de 25 pf, la componente reactiva no debe ser inductiva y la tensión que el receptor ponga en la línea de enlace, no debe exceder de 2 volts, con cualquier polaridad.

La norma RS-449, proporciona 37 circuitos básicos, más otros diez adicionales, permitiendo velocidades de hasta 2 Mbps y distancia de 600 metros.

A diferencia de la interface RS-232C es que al estar el margen de tensiones situado entre ± 0.2 y ± 6 volts, la región umbral, en la que las señales permanecen indefinidas, se reduce de 6 volts, a tan sólo 0.4 volts, siendo además las exigencias en la toma de tierra mucho menos críticas.

3.7 Tiempos de Transmisión

El tiempo de transmisión es otro parámetro bastante importante que debe considerarse en el diseño de toda red, ya que de éste dependerá en gran parte la eficiencia de la misma.

El tiempo de transmisión está directamente relacionado con el medio de transmisión usado para la comunicación. Si se emplean medios de transmisión poco confiables e inseguros, implicará que se deberán efectuar una cantidad mayor de retransmisiones, lo cual trae consigo grandes periodos de tiempo de espera entre cada transmisión que se realice, y en ocasiones, cuando ésta cantidad es muy grande, se llega a bloquear el canal de comunicaciones, esto provoca que la transmisión de información enviada y/o recibida por las agencias de viajes hacia el sistema sea lenta, consiguiendo de esta manera que al agente de viajes se le haga tedioso y pesado su trabajo; por lo que la mayoría de los diseñadores buscan que éste sea lo más pequeño posible.

Aunque el grado de importancia del tiempo de transmisión va a estar también en función del tipo de información que se maneje; en algunos casos puede no ser relevante este tiempo, mientras que para otros este puede resultar crítico, por ejemplo, en los bancos que realizan operaciones bancarias, y requieren actualizar las cuentas casi instantáneamente, o en las agencias de noticias que requieren recibir la información de sus corresponsales y si transmiten la información a destiempo, ésta ya no fue noticia.

En el caso del sistema de tele-reservaciones, se considera que un tiempo de respuesta de 3 segundos es aceptable. Aunque éste tiempo actualmente en las horas pico se ha incrementado hasta casi un minuto.

Es por ello, que al realizar la elección del medio de transmisión, así como el equipo de comunicaciones a usar se debe tener presente el tiempo de respuesta que puede proporcionar el medio de transmisión y el equipo a su máxima capacidad.

3.8 Disponibilidad, Confiabilidad y Error permisible de la red

En todo diseño de redes, la disponibilidad, la confiabilidad y el error permisible de la red juegan un papel importante.

Siempre se desea que una red tenga una disponibilidad del cien por ciento, para que los usuarios puedan acceder todo el tiempo, cuantas veces sea necesario. Para lograr conseguir una buena disponibilidad es necesario que la red sea bien diseñada, considerando la cantidad de usuarios que va a soportar la red, el volumen de tráfico de información que se va a manejar, el medio de transmisión usado, y el tipo de equipo de comunicaciones que se va a tener, entre otros. Los dueños del sistema de tele-reservaciones desean que ésta disponibilidad sea de por lo menos el 95 por ciento con el equipo a su máxima capacidad.

La confiabilidad que pueda ofrecer la red al usuario va a ser muy apreciada por este último, ya que de ésta depende en gran parte su trabajo; el lograr una confiabilidad del cien por ciento es difícil ya que se cuenta con elementos que constantemente van a estar interfiriendo con ésta, por ejemplo, el enlace se puede interrumpir, en el caso de las líneas telefónicas analógicas, si la calidad de la línea no es la adecuada para transmitir datos, o si se cruzaron las líneas telefónicas; en el caso de las líneas

telefónica celulares, en ocasiones no son muy confiables para la conmutación de paquetes, ya que presentan microcortes aparentemente insignificantes, si se tratase de una transmisión de voz, pero en el caso de la transmisión de datos esto se traduce en una pérdida de comunicación completa.

Es por ello que debe de seleccionarse cuidadosamente el medio de transmisión que se va a emplear, procurando elegir el medio que nos brinde mayor seguridad y confiabilidad en la transmisión de la información, para que el usuario tenga la certeza de que lo que está transmitiendo sea la misma información que él envió.

Cuando se transmite cualquier tipo de información, ya sean datos, voz, o imagen, lo ideal sería que ésta llegara íntegra, tal como se envió, sin embargo, siempre está sujeta a sufrir una alteración mientras viaja para llegar a su destino final, pero gracias a los grandes avances que se han logrado en los últimos años en el área de telecomunicaciones, se ha hecho posible la minimización de éstos de manera tal que se podría decir que no existen. En el caso del sistema de tele-reservaciones ellos ofrecen a las agencias de viajes un máximo error permisible de dos por ciento en los Estados Unidos y desean que éste mismo porcentaje se pueda manejar en México.

3.9 Control de la Red

Una red es una combinación organizada de puntos (por ejemplo PCs, líneas telefónicas, servidores, mainframes, gente, etc.) y trayectorias (los medios con los cuales se conectan éstos puntos, ya sea par trenzado, fibra óptica, enlaces satelitales, etc.) que permiten el movimiento y compartición de la información y de los recursos entre todos los puntos que conforman la red.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Es por ello necesaria la existencia de un centro de control de la red que se encargue no solo de la operación adecuada de esta; sino también de la planeación e implementación para su crecimiento.

El objetivo de contar con un centro de control de la red es proporcionar a un personal autorizado, el tener acceso a todos los componentes de la red, locales y remotos, para monitorearlos, correrles pruebas y reconfigurarlos.

En el monitoreo de la red, el control de la red no debe interferir con las operaciones normales de la red, en caso de que el sistema de control falle, esto no debe afectar la ejecución de la red.

En este caso, el control de la red se va a tener en la ciudad de Atlanta, donde se localiza la estación terrena maestra de la red, y el centro de control de respaldo se ubicará en el Distrito Federal.

CAPITULO 4

CONFIGURACION DE LA RED



4. CONFIGURACION DE LA RED

Una vez planteada y analizada la problemática actual que está afectando el buen funcionamiento del servicio que ofrece el sistema de tele-reservaciones a las agencias de viajes procederemos a desarrollar el diseño de la nueva red.

Entendiéndose por un diseño de red adecuado la selección de parámetros, la determinación de circuitos e interconexión de dispositivos que nos permitan alcanzar las metas propuestas. Considerando no solo los aspectos técnicos como lo son: la capacidad requerida, el tipo de información a transmitir, el volumen de tráfico de información, la conectividad de la red, el tiempo de respuesta deseado, la cobertura de la red, o la topología a usar; sino otros aspectos tales como los requerimientos solicitados por el usuario, el presupuesto disponible, el tiempo fijado para alcanzar los objetivos, el grado de seguridad que se desea tener, etc.

Cualquier red, no importa lo simple o compleja que pueda resultar, en cualquier momento puede ser parte en el futuro de otra. Por tanto, se debe tener en cuenta desde el principio todos los conceptos básicos que nos permitan establecer una sólida base, a partir de la cual ir desarrollando toda la estructura necesaria, sin limitaciones de ningún tipo y siempre abiertas a nuevas posibilidades.

En la figura 4.1 se muestra el diagrama a bloques de la secuencia a seguir para efectuar el diseño de la red propuesta, los cuales se irán desarrollando en los capítulos siguientes.

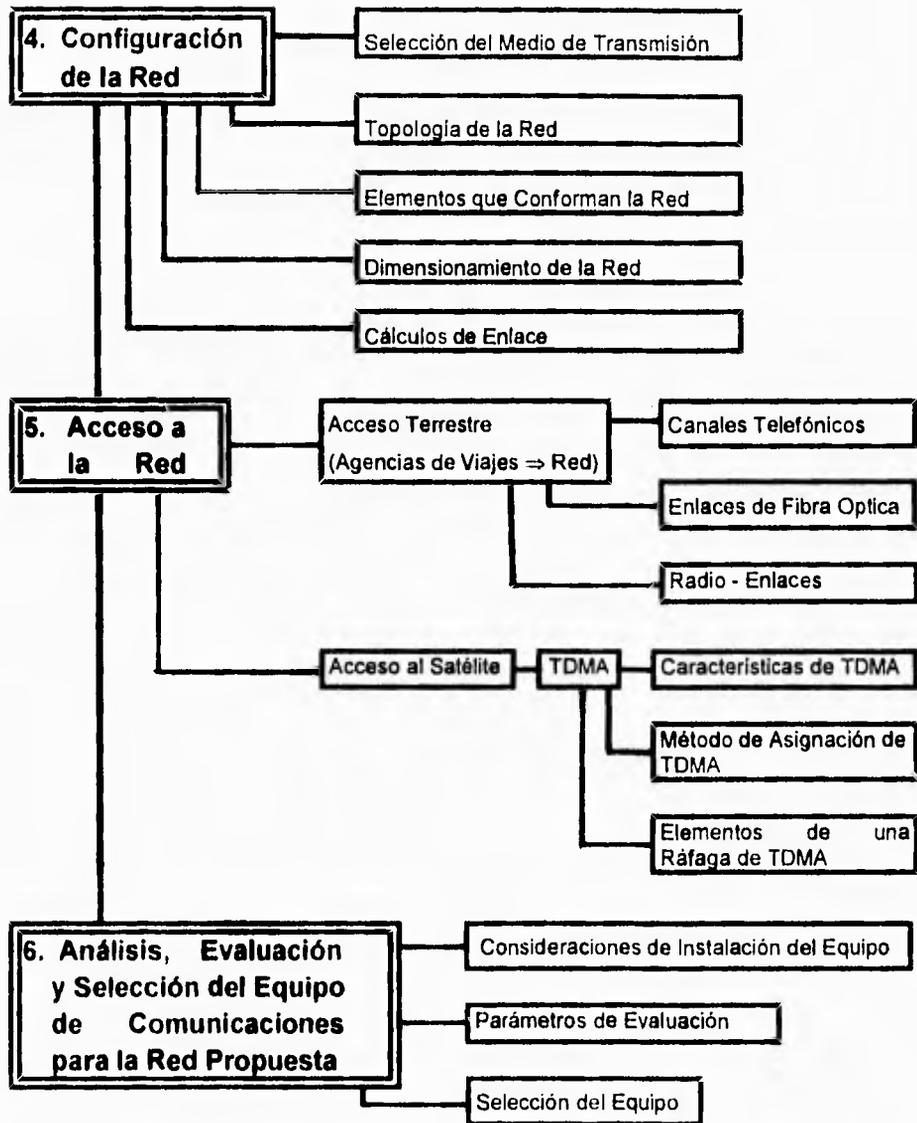


FIGURA 4.1 Secuencia a seguir para el Diseño de la Nueva Red.

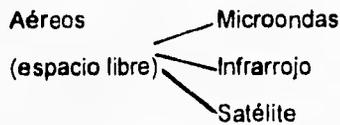
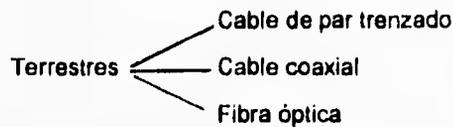
4.1 Selección del Medio de Transmisión

El medio de transmisión es la facilidad física empleada para interconectar juntas estaciones del usuario y dispositivos, para crear una red que transporte información entre las mismas.

La selección del medio físico a usar va a depender de:

- Tipo de ambiente donde se va a instalar.
- Tipo de equipo a usar.
- Tipo de aplicación y requerimientos.
- Capacidad económica (relación costo / beneficio esperada).
- Oferta

Los medios de transmisión se dividen en terrestres o aéreos.



Los cuales se describen ampliamente en los apéndices. En la tabla 4.1 se muestran las características principales de los medios de transmisión existentes:

Tecnología	Cobertura	Velocidad	Conectividad	Observaciones
Satélite	Nacional e Internacional.	Media Alta	Punto a punto Multipunto	Se tiene retardo de propagación.
Infrarrojo	Local	Alta	Punto a punto	Principal desventaja: el haz infrarrojo es afectado por el clima, interferencia atmosférica y obstáculos físicos.
Microondas	Metropolitana Regional	Media Alta	Punto a punto	Requieren repetidoras si la distancia del transmisor al receptor es mayor a 15 ó 20 millas.
Fibra óptica	Local Regional Metropolitana	Alta	Punto a punto	BW: 50 Mbps - 1 Gbps. El cable es altamente confiable, ocupan muy poco espacio, su capacidad multipunto es muy baja, su costo todavía es alto.
Cable coaxial	Local	Alta	Punto a punto Bus Arbol	BW: 400 MHz, costo alto, mejor inmunidad a los ruidos que el de banda base, alcance máximo de 5 km.
Cable de par trenzado	Local	Baja-Media	Punto a punto	BW: limitado, bajo costo, baja inmunidad al ruido, interferencia, alta tasa de error a grandes velocidades, alcance máximo de 3 km.

TABLA 4.1 Comparación de los diversos medios de transmisión existentes en México.

De los medios de transmisión con que se cuenta en México, se decidió elegir el satélite como medio de transmisión principal para el diseño de la nueva red, ya que nos presenta las siguientes ventajas:

- Tarifas independientes de la distancia.
- Fácil acceso a lugares remotos o poco accesibles.
- Posibilidad de asignación en función de la demanda.
- Ideal para configuraciones multipunto, por su amplia cobertura.
- Implementación rápida.
- Alta disponibilidad y confiabilidad.

Y de respaldo se usará la fibra óptica como medio de transmisión, la cual nos proporciona enlaces confiables con alta inmunidad al ruido, además de permitirnos manejar altas velocidades de transmisión.

4.2 Topología de la Red

Con la evolución de las redes de comunicación vía satélite, los sistemas de comunicación pueden conectarse a distancias que por necesidades imperativas se fueron haciendo cada vez más grandes, esto trajo como consecuencia problemas de optimización del uso del medio de comunicación.

Es por ello, que el objetivo principal de una red satelital es interconectar de manera económica y confiable dichos sistemas. Esto involucra un estudio detallado de varios parámetros del sistema que se quiere enlazar a través de ésta. Esta etapa es de gran importancia, ya que gran parte determina los resultados para la selección de la arquitectura de la red, así como la técnica de acceso, el tamaño de las estaciones, la velocidad de transmisión de las portadoras, etc.

La topología de la red es la que nos va a determinar la manera en la cual los componentes de la red y el medio de transmisión estarán conectados físicamente. Dentro de los tipos de configuración existentes para redes vía satélite tenemos:

- Configuración Estrella. (Figura 4.1)
- Configuración Malla. (Figura 4.2)
- Configuración Arbol. (Figura 4.3)

Las cuales se explican a detalle en los apéndices.

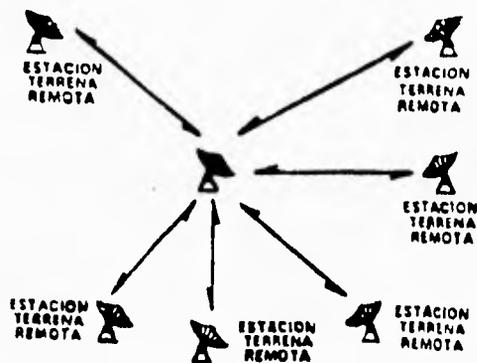


Figura 4.1 Configuración Estrella

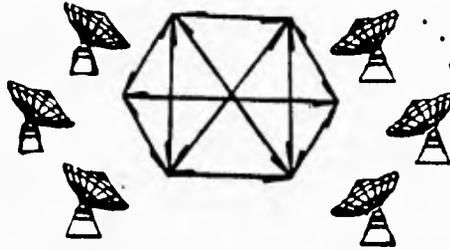


FIGURA 4.2 Configuración Malla

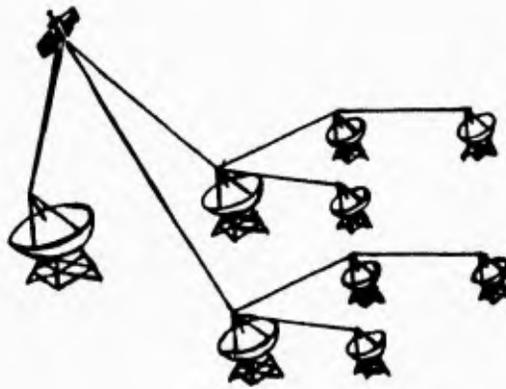


FIGURA 4.3 Configuración de Arbol

El acierto en la elección de una configuración u otra dependerá de su adaptación en cada caso al tipo de tráfico que debe cursar y de una valoración de la importancia relativa de las prestaciones que de la red se pretende obtener. De las topologías arriba mencionadas se decidió elegir la topología Estrella, por ser la más viable para nuestro caso. Dentro de las características más relevantes de este tipo de configuración podemos mencionar las siguientes:

- Cada una de las estaciones remotas están unidas a una estación central que se encarga de realizar todas las funciones de conmutación.
- La estación central es la responsable de encaminar el tráfico hacia las estaciones remotas, además de localizar las averías, asumir las labores de control y disponer de gran parte de los recursos informáticos comunes.
- La estación central aísla a una estación de otra, resultando una red fiable frente a averías en las estaciones; sin embargo, si se presenta un daño o mal funcionamiento en la estación central, la red queda aislada o bloqueada y sin posibilidad de reconfiguración.

En nuestro caso, la estación central se ubicará en la ciudad de Atlanta, Georgia, donde se encuentra el host principal del sistema de tele-reservaciones, y las estaciones remotas se tendrán en las ciudades de Guadalajara, Monterrey y Distrito Federal, las cuales, como ya se mencionó en los capítulos anteriores, son los sitios de mayor demanda del servicio de reservaciones. Cabe aclarar, que estos puntos constituyen una primera etapa; ya que se tiene planeado la expansión paulatina de la red, tanto en la República Mexicana como en los Estados Unidos, en un período máximo de dos años; dando prioridad a aquellas ciudades en donde se tenga una alta demanda del

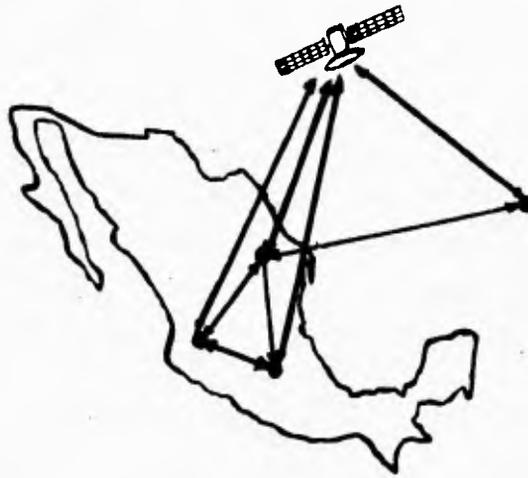


FIGURA 4.4 Topología de la Red (Etapa Inicial)

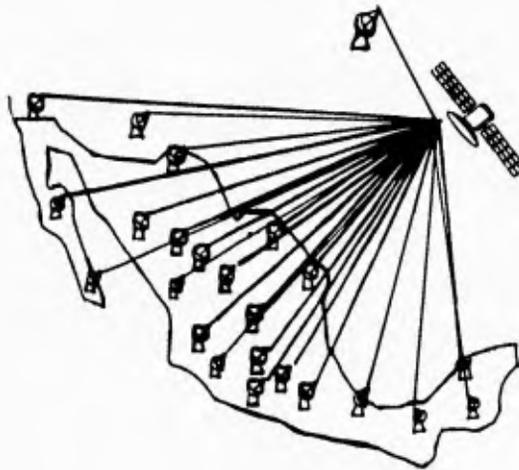


FIGURA 4.5 Topología de la Red (Etapa final)

servicio, hasta llegar a las de menor demanda; procurando con ello lograr una amplia cobertura tanto a nivel nacional como internacional. Esto se puede apreciar en las figuras 4.4 y 4.5

Ahora bien, con respecto al enlace de respaldo, se tiene pensado emplear la RDI (Red Digital Integrada), ya que ésta cuenta con una cobertura a nivel nacional y nos permite manejar topologías de tipo malla. A continuación se hace una breve descripción de los puntos más relevantes de la **R.D.S.I** (Red Digital de Servicios Integrados)

4.2.1 Red Digital de Servicios Integrados (R.D.S.I.)

Las redes digitales de servicios integrados, surgen de la evolución de las redes telefónicas públicas, con el objetivo de integrar diversos servicios que hasta entonces se venían proporcionando con redes independientes. En el año de 1984, el CCITT, publica una serie de estándares y normas para el desarrollo de las Redes Digitales de Servicios Integrados (R.D.S.I.), basándose en el empleo de una tecnología digital que permitiese el uso de mayores velocidades y prestaciones, mejorando el rendimiento de las redes ya existentes. En México, la R.D.S.I. es desarrollada por la RDI adoptando los estándares y normas establecidos por el CCITT.

La digitalización de las comunicaciones permite la utilización de un mayor número de canales, sobre los mismo circuitos, pudiéndose realizar dos comunicaciones simultáneas, además de poder disponer de un tercer canal para señalización de gran capacidad y conocer el número del usuario que llama, mensajes breves, tarificación, etc.

Estructura de la R.D.S.I.

La R.D.S.I., presenta diversos tipos de interfaces. los cuales constituyen el punto de unión entre los diversos equipos conectados a través de la propia red. Estas interfaces están constituidas por un determinado número de canales multiplexados en el tiempo (TDM - Time Division Multiplexing) sobre un sólo enlace físico en una estructura estandar.

Canales de Acceso

CANAL	CARACTERISTICAS
" B " (Bearer)	Soportan un flujo duplex a 64 Kbps, y se destina al transporte de información de diversos tipos para el usuario (voz, datos, imagen)
" D " (Demand)	Utilizado para la transmisión de información de señalización, establece las comunicaciones entre los canales B y H asociados, permite además la transmisión de datos del usuario "empaquetados". Dependiendo de la interface específica, el flujo del canal puede ser de 16 o 64 Kbps
" E "	El canal es de 64 Kbps, y se emplea para transportar información de señalización destinada a la conmutación de circuitos
" H "	Proporcionan al usuario una capacidad de transferencia de hasta 1.92 Mbps, y están destinados a aplicaciones de video y transmisión de datos a alta velocidad. Los cuales se clasifican en: H0: 348 Kbps H11: 1.536 Mbps (proporcionan compatibilidad mundial) H12: 1.92 Mbps

Estructura Básica

La estructura básica de acceso de usuario, destinada a enlazarle con la red, se compone de dos canales B y un canal D a 16 Kbps (2B+D); mientras que la estructura de acceso primario consta de 30 canales B y uno D (30B+D). (figura 4.6)

- **Estructura (2B + D).** Esta estructura puede implementarse con tan solo un par de hilos con dispositivos electrónicos que soporten velocidades de transmisión de 19.2 Kbps en ambos sentidos. Ocupan métodos de cancelación de eco y su aplicación principal es en instalaciones pequeñas con pocos terminales o para interconectar centrales digitales a redes locales o a sus extensiones.
- **Estructura (30B + D).** Está formada por 30 canales B y un canal D a 64 Kbps, su velocidad global es de 2.048 Mbps. Este acceso primario puede soportar enlaces entre centrales digitales de mediana y gran capacidad.

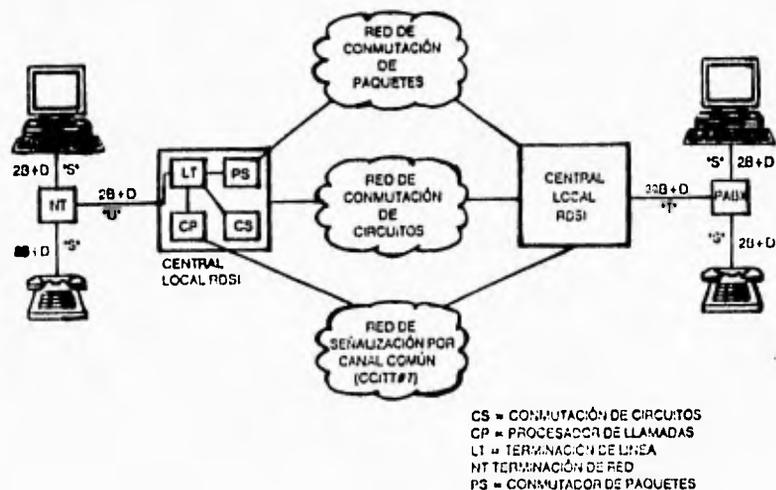


FIGURA 4.6 Estructura Básica de la RDI

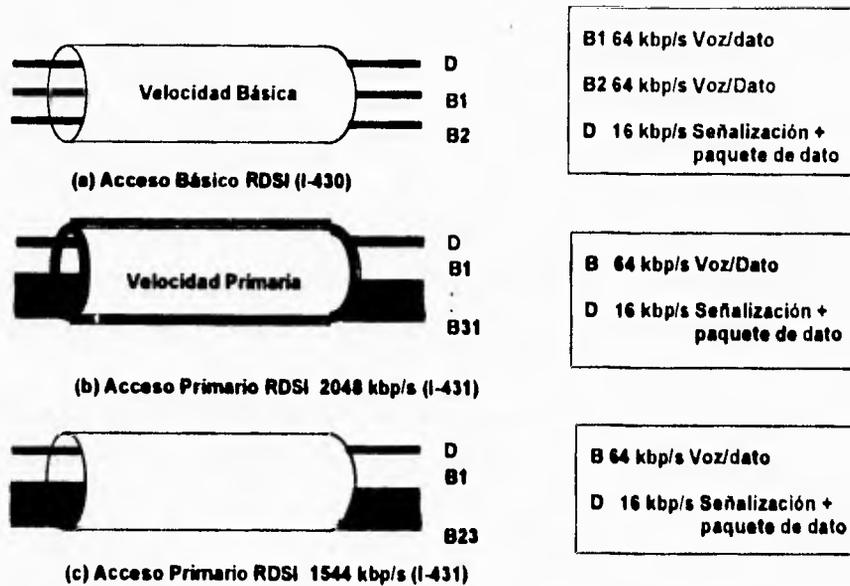


FIGURA 4.7 Tipos de Acceso a la R.D.S.I.

Agrupaciones Funcionales

Son una serie de funciones necesarias en una interface de acceso de usuario a la R.D.S.I. que pueden llevarse a cabo mediante multiples elementos fisicos.

- **Equipo terminal "ET1"** Este se puede conectar directamente a la interface S. Equipos de este tipo son el teléfono digital, el teletex a 64 Kbps y el facsimil grupo 4 a 64 Kbps.

- **Equipo terminal "ET2"**. Son los elementos terminales empleados en las redes actuales, necesitándose el empleo de un adaptador para su conexión a la R.D.S.I.
- **Adaptador de terminal "AT"**. Este permite la conexión de los terminales del tipo ET2 a la interface S. En realidad, es un convertidor de protocolo e interface.
- **Terminación de red "NT1"**. Realiza las funciones asociadas con la terminación física de red, permitiendo conectar las instalaciones del usuario a la línea de transmisión digital.
- **Terminación de red "NT2"**. Agrupación funcional que realiza funciones de control en la instalación del usuario, tales como señalización, multiplexación de canales, conmutación local, concentración de tráfico y mantenimiento.
- **Terminación de línea "TL"**. Equipo de transmisión digital del lado de la central local, que realiza funciones similares a la NT1 y se encarga del mantenimiento de la línea de transmisión digital.
- **Terminación de central "TC"**. Se ubica en la central y realiza la conexión de los canales de información; soporta el procesamiento de señalización, controla la activación /desactivación de la línea digital y realiza el mantenimiento del acceso del usuario, entre otras funciones.

Puntos de Referencia

Los puntos de referencia son los puntos de conexión entre los bloques funcionales. Se debe tener presente que estos puntos son conceptuales y no indican necesariamente una interface física.

CONFIGURACION DE LA RED

- **Punto 'S'** Interface de conexión física de terminales a la red. Es universal y aplicable a cualquier tipo de terminal y servicio.
- **Punto 'T'** Separación entre el equipo de transmisión de la línea digital y las instalaciones propias del usuario
- **Punto 'U'** Se localiza en la propia línea de transmisión digital, entre el usuario y la central local de abonado
- **Punto 'V'** Separación entre las funciones de transmisión y de conmutación, en la central local de abonado.
- **Punto 'R'** Representa las interfaces físicas para terminales convencionales, tales como el RS-232.

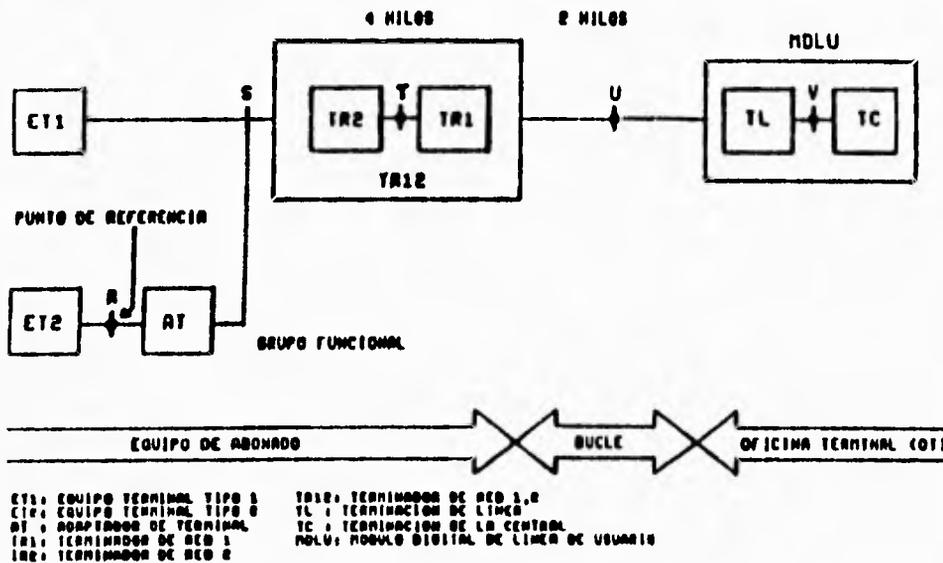


FIGURA 4.8 Grupos Funcionales y Puntos de Referencia de la RDI

En la figura 4.9, se muestra la cobertura de la Red Digital Integrada en México, de donde se tienen tres opciones para enlazar los nodos de Guadalajara, Monterrey y Distrito Federal con la ciudad de Atlanta, en Estados los Unidos de Norteamérica.



FIGURA 4.9 Cobertura Nacional de la RDI

CONFIGURACION DE LA RED

A continuación se listan las tres posibles rutas a seguir para enlazar los nodos de la red.

- 1. Atlanta, Nuevo Laredo, Monterrey, Saltillo, Torreón, Aguascalientes, Guadalajara, Celaya, México, Querétaro, San Luis Potosí, Tampico, Matamoros, Monterrey. (figura 4.10)



FIGURA 4.10 Trayectoria 1 para el enlace de respaldo (RDI).

CONFIGURACION DE LA RED

- 2) La segunda trayectoria: Atlanta, Nuevo Laredo, Ciudad Juárez, Nogales, Hermosillo, Culiacán, Mazatlán, Guadalajara, Celaya, México, Querétaro, San Luis Potosí, Tampico, Matamoros, Monterrey, Nuevo Laredo. (figura 4.11)



FIGURA 4.11 Trayectoria 2 para el enlace de respaldo (RDi)

3) La tercera opción es conectar: Atlanta, Nuevo Laredo, Monterrey, Saltillo, Torreón, Aguascalientes, Guadalajara, Celaya, México, Puebla, Veracruz, Villahermosa, Mérida y finalmente en Cancún, es donde sube la señal al satélite y baja en Atlanta. (figura 4.12)



FIGURA 4.12 Trayectoria 3 para el enlace de respaldo (RDI)

3) La tercera opción es conectar: Atlanta, Nuevo Laredo, Monterrey, Saltillo, Torreón, Aguascalientes, Guadalajara, Celaya, México, Puebla, Veracruz, Villahermosa, Mérida y finalmente en Cancún, es donde sube la señal al satélite y baja en Atlanta. (figura 4.12)



FIGURA 4.12 Trayectoria 3 para el enlace de respaldo (RDI)

De las opciones presentadas, se tiene que la más conveniente es la opción (1); sin embargo, la asignación de la ruta la determina la RDI con base en la capacidad de sus nodos.

Como se puede apreciar en las opciones descritas, la gran limitante se tiene en el cruce fronterizo para enlazar México con Estados Unidos; ya que Nuevo Laredo es el único sitio donde se tienen establecidos acuerdos entre las compañías telefónicas de ambos países.

Por otro lado, cada nodo tendrá una topología de tipo estrella, con lo cual se pretende brindar el servicio de reservaciones a las agencias de viajes. Finalmente, cabe hacer mención que tanto el enlace satelital como el de respaldo operarán simultáneamente durante los primeros meses, a fin de verificar el buen funcionamiento de la red.

Resumiendo tenemos que para el enlace satelital se empleará una topología de tipo estrella-estrella, la cual operará en la banda Ku y se dispondrá de un enlace digital de respaldo con una topología de tipo malla.

4.3 Elementos que Conforman la Red

Los principales elementos que constituyen un enlace de comunicaciones por satélite son el satélite en sí o segmento espacial y las estaciones terrenas o segmento terrestre.

4.3.1 Segmento Espacial

En México, gracias a los avances tecnológicos que se han logrado, podemos contar con este tipo de medio de transmisión. En 1985 se hace el primer lanzamiento y puesta en marcha del primer sistema de satélites de comunicaciones mexicanos

denominados Morelos I y Morelos II. La segunda generación de satélites mexicanos fueron programados para sustituir a los satélites Morelos; ya que la vida útil del primer satélite terminó en 1993 y en 1998 terminará la del segundo. El satélite Solidaridad I fué lanzado el 20 de noviembre de 1993 y el Solidaridad II en Octubre de 1994. Con estos lanzamientos, México se pone a la vanguardia en tecnología en materia de telecomunicaciones. En la tabla 4.2 se describen algunas características generales de estos satélites. De donde decidimos elegir el Satélite Solidaridad I como medio de transmisión para el diseño de la red.

Cobertura del Satélite:

El Satélite Solidaridad I ocupa la posición orbital de 109.2° longitud Oeste. El satélite incluye en su carga útil las bandas "C", "Ku" y "L" que cubren el territorio mexicano y gran parte del continente americano.

La cobertura del satélite Solidaridad se ha dividido en seis regiones:

BANDA C	Región 1 (figura 4.13) Región 2 (figura 4.14) Región 3 (figura 4.15)
BANDA KU	Región 4 (figura 4.16) Región 5 (figura 4.17)
BANDA L	Región 6 (figura 4.18)

PARAMETROS	1ª GENERACION MORELOS	2ª GENERACION SOLIDARIDAD
Modelo del Satélite	HS376	HS601
Estabilidad	Por giro	Triaxial
Tiempo de vida	9 años	14 años
Dimensiones (desplegado)	2.16 mts. de diámetro por 6.6 mts. de longitud	7.2 mts. antena-antena por 21 mts. paneles
Peso Total	666 Kgs	2773.23 Kgs S1
Peso Seco	521 Kgs	1280.40 Kgs S1
Combustible	145	1492.8 S1
Potencia	777 Watts	3370 Watts S1
Transpondedores	12 (36 MHz / 7W) + 6 (72 MHz / 10.5 W)	12 (36 MHz / 16-11 W) + 6 (72 Mhz / 16 W)
PIRE Banda C	36 y 39 dBW	37 y 40 dBW
Haces Conmutables Banda C	Ninguno	2
PIRE Banda Ku	44 dBW	47 dBW
Haces Conmutables Banda Ku	Ninguno	1
Transpondedores Banda L	Ninguno	2 (Ku a Banda L y L a Banda Ku) / 24 W
PIRE Banda L	-----	35 dBw

TABLA 4.2 Características Generales de los Satélites de Comunicaciones en México

Banda	C - Región 1
Servicios Principales	Distribución de televisión y radio. Enlaces de telefonía pública. Redes corporativas de voz y datos.
Cobertura	Territorio mexicano, sur de Estados Unidos, Guatemala, Belice y parte del Salvador y Honduras.
Capacidad de cada Satélite	12 Transpondedores de 36 Mhz, 6 Transpondedores de 72 Mhz. Vida útil de 14 años, 56% más que los Morelos
PIRE	36 Mhz - 37.5 dBW, 72 Mhz - 40 dBW



FIGURA 4.13 Patrones de Cobertura para la banda "C" en la región 1 (R-1)

Banda	C - Región 2
Servicios Principales	Distribución de televisión y radio, Redes corporativas de voz y datos, Redes troncales de telefonía pública, Redes digitales públicas y privadas
Cobertura	Territorio mexicano, Sur de Estados Unidos, Centroamérica, Cuba y el Caribe, Colombia y Venezuela
Capacidad de cada Satélite	4 Transpondedores de 36 MHz. De la región 1 se puede conmutar a la región 2 o a la región 3. Antenas de recepción de 2 a 3 metros.
PIRE	37.0 dBW



FIGURA 4.14 Patrones de Cobertura para la Banda "C" en la región 2 (R-2)

Banda	C - Región 2
Servicios Principales	Distribución de televisión y radio, Redes corporativas de voz y datos, Redes troncales de telefonía pública, Redes digitales públicas y privadas
Cobertura	Territorio mexicano, Sur de Estados Unidos, Centroamérica, Cuba y el Caribe, Colombia y Venezuela
Capacidad de cada Satélite	4 Transpondedores de 36 MHz. De la región 1 se puede conmutar a la región 2 o a la región 3. Antenas de recepción de 2 a 3 metros.
PIRE	37.0 dBW



FIGURA 4.14 Patrones de Cobertura para la Banda "C" en la región 2 (R-2)

CONFIGURACION DE LA RED

Banda	C - Región 3
Servicios Principales	Distribución de televisión y radio, Redes corporativas de voz y datos, Redes troncales de telefonía pública.
Cobertura	Sudamérica: Ecuador, Perú, Bolivia, Paraguay, Uruguay, Chile, Argentina, Oeste de Brasil, sur de Colombia.
Capacidad de cada Satélite	4 Transpondedores de 36 MHz. De la región 1 se pueden conmutar a la región 2 o a la región 3. Antenas de recepción de 2 a 3 metros.
PIRE	37.0 dBW



FIGURA 4.15 Patrones de Cobertura para la Banda "C" en la región 3 (R-3)

Banda	Ku - Región 4
Servicios Principales	Redes corporativas de voz y datos, Distribución de televisión, Redes digitales públicas y privadas.
Cobertura	Territorio mexicano, Sur de Estados Unidos, Parte de Guatemala y Belice.
Capacidad de cada Satélite	16 Transpondedores de 54 MHz, Potencia 4 veces mayor a la del Morelos , Antenas de recepción de TV entre 60 y 90 cm. con señal digital; entre 1.0 y 1.5 m. con señal analógica.
PIRE	47.0 dWB

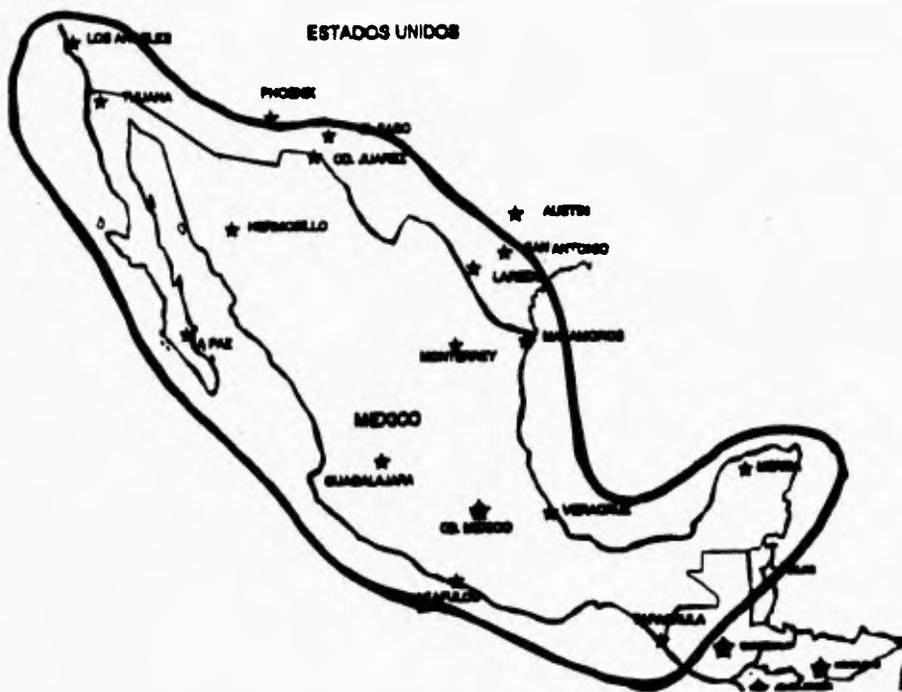


FIGURA 4.16 Patrones de Cobertura para la Banda "Ku" en la región 4 (R-4)

CONFIGURACION DE LA RED

Banda	Ku - Región 5
Servicios Principales	Distribución de Televisión, Redes corporativas de voz y datos.
Cobertura	Algunas ciudades de los Estados Unidos, Tóronto, La Habana.
Capacidad de cada Satélite	2 Transpondedores de la región R4 se pueden conmutar a la región R5

PIRE 46.5 dBW



FIGURA 4.17 Patrones de Cobertura para la Banda "Ku" en la región 5 (R-5)

Banda	L - Región 6
Servicios Principales	Comunicación móvil de telefonía y datos para vehículos terrestres, aéreos y marítimos, Telefonía rural, Radiodeterminación.
Cobertura	México y su mar patrimonial y Zonas fronterizas
Capacidad de cada Satélite	No definida Antenas pequeñas; especiales para vehículos terrestres, aeronaves y embarcaciones
PIRE	35.0 dBW



FIGURA 4.18 Contornos de Cobertura para la banda "L" en la región 6 (R-6)

4.3.2 Segmento Terrestre

En la figura 4.19 se muestra un diagrama a bloques de la red satelital.

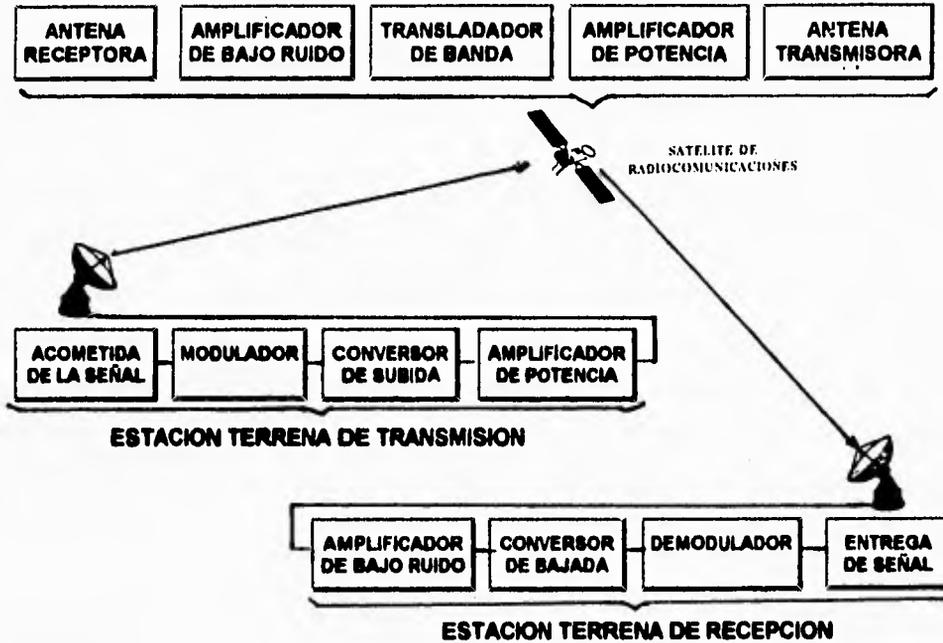


FIGURA 4.19 Diagrama a bloques de la red satelital

Estaciones Terrenas

Una estación terrena está compuesta por una serie de equipos interconectados entre sí. El termino es utilizado indistintamente para indicar a todo equipo terminal que se comunique desde la tierra con el satélite, sin importar si esta fijo en algún punto o si es una unidad móvil. Estas se dividen en estaciones terrenas maestras y estaciones terrenas remotas.

Estación Terrena Maestra

La estación maestra va a estar compuesta de una unidad transreceptora, un amplificador de potencia de estado sólido(SSPA), la fuente de alimentación del SSPA, un convertidor de bajada de bajo ruido a bloques y, una antena.

Estaciones Terrenas Remotas

Son terminales de RF no redundantes y van a estar compuestas de una unidad transreceptora no redundante, un amplificador de potencia de estado sólido, la fuente de poder del SSPA, un convertidor de bajada de bajo ruido a bloques y una antena.

Por lo general desde el punto de vista de comunicaciones, una estación terrena transmisora-receptora, está constituida por la antena, el amplificador de bajo ruido, el amplificador de potencia, las cadenas ascendentes y descendentes, el modem, el multiplexor y el equipo de banda base.

De acuerdo a las necesidades en particular, se tendrá equipo adicional como un sistema automático de compensación de potencia o un sistema de rastreo, sin perder de vista el sistema de energía no interrumpible.

En aquellos casos en los que se requiere hacer alguna conexión entre la estación terrena y el usuario, se puede disponer de un enlace de microondas, o bien de fibras ópticas a través de la red conmutada. Esto dependerá además de la calidad que se desee ofrecer, de las necesidades de capacidad, en distancia y de las facilidades de infraestructura que se tengan.

En las estaciones terrenas podemos considerar varios subsistemas (figura 4.20).

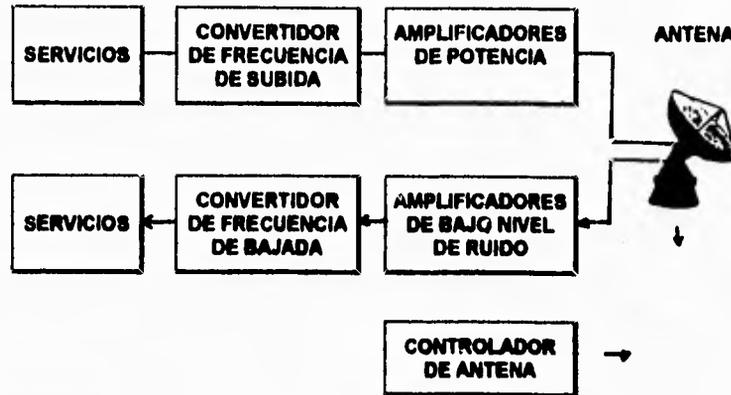


FIGURA 4.20 Subsistemas de la Estación Terrena

En las estaciones terrenas podemos considerar varios subsistemas:

Transmisor

Puede haber una o varias cadenas de transmisión, dependiendo del número de frecuencias separadas de las portadoras y los satélites con los cuales la estación deba operar simultáneamente.

Amplificador de potencia de estado sólido (SSPA)

La unidad del amplificador de potencia de estado sólido amplifica la señal Tx de salida de RF/FI para el nivel de transmisión RF hacia el satélite. La señal de transmisión Tx

es amplificada a un nivel nominal por el SSPA. La señal resultante RF de salida es conducida al alimentador de la antena usando el enlace de subida apropiado.

Existen varios tipos de amplificadores, todos ellos utilizan el principio de modulación de velocidad:

- **Klystron:** es un amplificador a base de cavidades resonantes en las que se emiten haces de electrones a gran velocidad, éstos actúan sobre la señal de entrada y viajan a través de un espacio de deriva hasta el colector. En la práctica se emplean de 4 a 7 etapas similares a fin de obtener una potencia de salida muy alta.
- **TWTA:** tubo amplificador de ondas progresivas: la señal viaja a través de un tubo cuyo cátodo emite una ráfaga de electrones que actúan sobre ésta dando por resultado una transferencia de energía y, por lo tanto, una amplificación.
- **SSPA:** amplificador de potencia de estado sólido; son dispositivos más eficientes y lineales que los anteriores, por esta razón el punto de operación está muy cercano al de saturación.

Receptor

De nuevo, puede haber uno o varios receptores/convertidores de las cadenas descendentes, dependiendo del número de frecuencias separadas y satélites que reciben y varias consideraciones de operación.

Fuente de Poder del SSPA

La unidad de fuente de poder del SSPA además de alimentar al SSPA va a monitorear la corriente para el SSPA y en caso de detectar una falla en el módulo de monitoreo o en el control de la unidad transreceptora, se activa una alarma.

Terminal de Radio frecuencia (RF)

La terminal de RF convierte la señal de banda base a Frecuencia Intermedia (FI) o a señales de RF para la transmisión en los satélites. El equipo terminal de RF es seleccionado con base en las aplicaciones del cliente y a los requerimientos de tráfico. Las interfaces de señales externas son guías de onda para RF y coaxiales para FI. Todas las conexiones están aisladas, asegurando un sello efectivo en contra de la precipitación.

Amplificador de Bajo Ruido a Bloques (LNA)

La unidad amplificadora a bloques de bajo ruido, amplifica las señales que recibe del satélite a través de la antena, adicionando el mínimo ruido posible al sistema.

Antenas

La antena transmite y recibe las señales de radio frecuencia (RF) del satélite, convirtiendo la señal portadora eléctrica a campos electromagnéticos polarizados y viceversa. La antena consta de un reflector y un ensamble de alimentación. Las interfaces de alimentación que son: el amplificador de Alta Potencia (HPA: High Power Amplifier) y el Amplificador de Bajo Ruido (LNA: Low Noise Amplifier) están conectados a la antena a través de un transductor de Modo Ortogonal (OMT: Orthogonal Mode Transducer). La antena y el amplificador son seleccionados con base en la aplicación del cliente y al requerimiento de tráfico. Los factores que afectan el tamaño de la antena son:

Cantidad de Tráfico, Banda de frecuencia, cobertura del satélite.

Sistema de rastreo

Este comprende cualquier circuito de control y manejo necesarios para mantener la antena apuntando al satélite.

Interface terrestre

Esta es la interconexión con cualquier sistema terrestre que esté involucrado.

Equipo de prueba

Incluye el equipo necesario para una rutina de chequeo de la estación terrena y de interface terrestre, posible monitoreo de las características del satélite y ocasionalmente para la medición de características especiales como la figura de mérito (G/T).

Componentes de cada nodo de la red

Cada nodo de la red estará integrado por los siguientes elementos: (figura 4.21)

- Antena
- Equipo de radio frecuencia (RF)
- Equipo TDMA
- Equipo de Banda Base
- Equipo de red (PADs, multiplexores, modems, etc.)
- Conmutador (PBX)

En la estación maestra se dispondrá adicionalmente de un equipo de monitoreo de la red.

CONFIGURACION DE LA RED

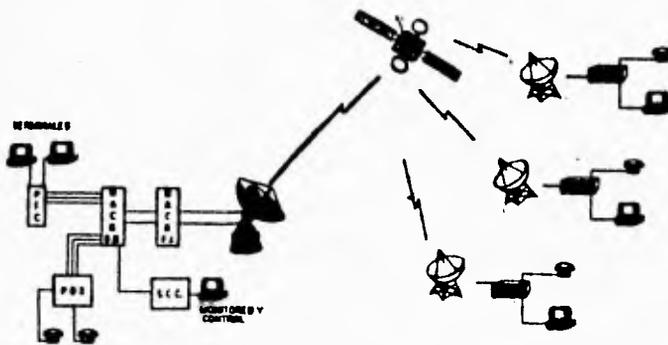
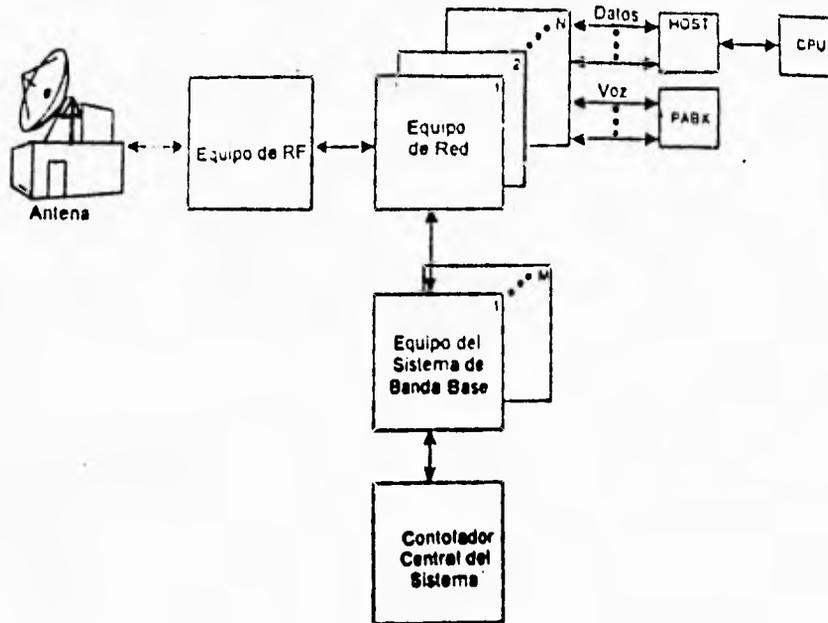


FIGURA 4.21 Implementación de la Red

Equipo de RF

El equipo de RF incluye todo el equipo de exteriores que se localiza con la antena, como lo es la antena reflectora y estructura de alimentación, la unidad de exteriores y la estructura de montaje y ensamble.

Los módulos que contienen los circuitos electrónicos, radio transmisor, receptor, etapa frontal de un modulador digital, son adecuados para la instalación a la intemperie.

Equipo TDMA

Este está integrado por tres montajes principales: el chasis del equipo común, el chasis del grupo de tarjetas de interface y la consola de operación local. Incluye las tarjetas de puertos de datos de alta velocidad.

Equipo de Banda Base

Este incluye las interfaces de control y proporciona una interface para el Centro de Control del Sistema.

Equipo de red

- **IDNX (Interface Digital Network Exchange)**. El equipo IDNX va a funcionar como nodo y como concentrador; es el que nos va a permitir acoplar las líneas de transmisión de alta velocidad (T1s, E1s, E3s, etc.) con las líneas de baja velocidad empleadas por los usuarios (2400 bps - 19.2 kbps). Y es donde se van a conectar tanto los PADs, como los puertos síncronos dedicados. Dependiendo de la capacidad de puertos que se requieran, se cuenta con equipos de la serie 20, 40, 70, hasta el más grande que es el de la serie 90.

- **PADs.** Los PADs como su nombre lo indica, son equipos de comunicaciones que se emplean para el ensamblado y desensamblado de paquetes, se encargan de convertir de protocolo asíncrono a protocolo síncrono (X.25) y viceversa, para que las terminales puedan comunicarse con el host. Dentro de las funciones que realiza un PAD tenemos que otra de las más importantes es el que pueda multiplexar un canal X.25. Estos equipos nos son muy útiles cuando se cuenta con una gran cantidad de usuarios que se van a conectar a una red utilizando un protocolo asíncrono, ya que reduce considerablemente la cantidad de puertos que se deberían emplear para conectarlos a la red, lo cual se traduce en una reducción de costos y una optimización de los recursos de la infraestructura de la red.
- **Modems.** El modem es un dispositivo de comunicaciones usado para modular y demodular las señales. El modulador toma la señal de banda base de entrada y y coloca esta en una portadora de frecuencia intermedia. El demodulador realiza el proceso inverso a la modulación y recobra la información de banda base original de la portadora modulada.

PBX

La función básica del **PBX**, para nuestro caso, será el concentrar tanto las líneas telefónicas digitales que se van a emplear en los enlaces de red conmutada así como los enlaces dedicados con líneas privadas o enlaces de microondas.

Equipo de monitoreo y control

Cuenta con un software especial para monitorear y controlar la red, realizando las siguientes funciones:

- Reenrutamiento
- Habilitación o deshabilitación de canales

- Reconfiguración de los puertos
- Establecimiento de rutas alternas

En la figura 4.22 se muestra el equipo requerido para el enlace de respaldo.

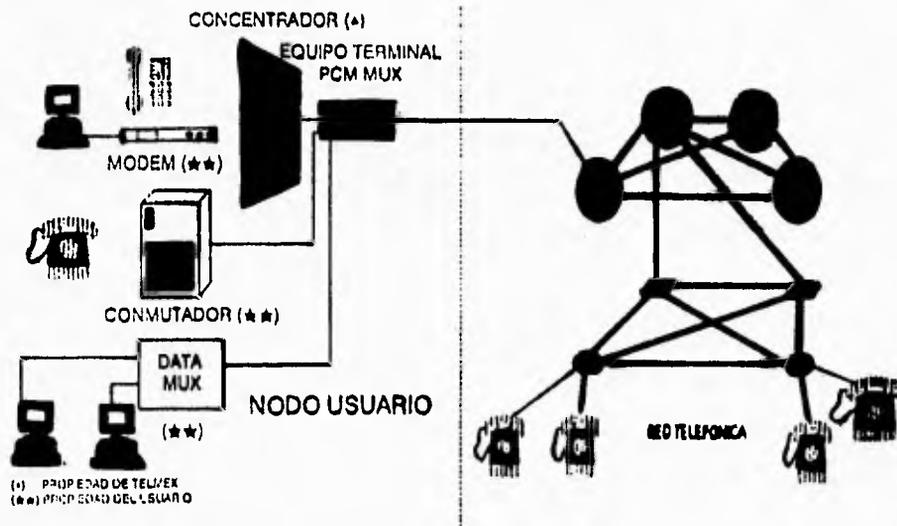


FIGURA 4.22 Equipo de usuario requerido por la RDI

4.4 Dimensionamiento de la red

Para dimensionar la red, se deben considerar diversos factores como lo son: la capacidad requerida, el tipo de información que se va a transmitir, el volumen de tráfico de información que se debe manejar, la conectividad de la red, el tiempo de respuesta deseado, la cobertura de la red, la topología a emplear, entre otros. Cabe considerar también, aparte de los aspectos técnicos, otros tales como el presupuesto

disponible, tiempo fijado para alcanzar los objetivos, grado de seguridad que se debe obtener, etc.

La gran limitación del dimensionamiento de la red es su costo. Pero en algunas ocasiones, aunque el costo de la red sea alto, si se sabe aprovechar adecuadamente, puede que no lo sea. Por ejemplo, si somos capaces de mantener un alto tráfico por una línea punto a punto, puede resultar el medio más adecuado, a pesar de un alto costo, para efectuar la transmisión de información que se necesita. Si con el uso de un solo terminal no se logra mantener un alto grado de ocupación del canal de transmisión, es posible combinar los datos procedentes de varias terminales, mediante multipuntos, multiplexores, concentradores, etc., para mantener alto grado de ocupación de éste y por tanto obtener una transmisión eficaz, de una alta relación tráfico/coste.

Para efectuar el dimensionamiento del equipo de comunicaciones con el que se deberá contar en cada nodo, se debe de tomar en cuenta el volumen de tráfico y la cantidad de usuarios que manejará cada nodo, la forma en la que se enlazarán a la red los usuarios, el modo de transmisión que usarán las agencias de viajes para transmitir y/o recibir información, si se trata de grandes agencias de viajes que cuentan con varias terminales en sus oficinas y requieren un enlace dedicado X.25, o son agencias de viajes pequeñas que cuentan con una o dos terminales de datos o PCs para enlazarse al sistema de tele-reservaciones.

A parte de todos estos parámetros, se debe considerar que aún estando ya conformada la red, se debe de tener equipo de respaldo para que en un momento dado si se llega a presentar alguna una falla de cualquier componente del hardware de la red, este pueda ser reemplazado rápidamente y evitar de esta forma, que la red se

quede fuera de operación hasta que no se consiga el nuevo componente que reemplace al equipo dañado. Es por ello conveniente que al momento de hacer la selección y compra del equipo se analice con detenimiento todas las características que los fabricantes de equipo de comunicación nos ofrecen.

Para lograr conformar un diseño adecuado de la red, procederemos primeramente por considerar los requerimientos solicitados por los dueños del sistema de tele-reservaciones, los cuales se enlistan a continuación:

- **Número de nodos:** 4 nodos ubicados en las ciudades de Guadalajara, Monterrey, D.F. y Atlanta, Georgia.
- **Tipo de Enlace:** Satelital con un enlace de respaldo
- **Modo de Transmisión:** Full-duplex
- **Protocolos:** X.25 y Asíncrono
- **Tipo de Información:** Transacciones para la reservación de boletos de avión, hoteles, arrendamiento de automóviles, etc.
- **Tráfico de Información:** 2.5 Megabytes mesuales por cada agencia de viajes
- **Número de Conexiones:** hasta 512 conexiones simultáneas
- **Tiempo de Respuesta:** 3 segundos o menos

- Disponibilidad: 95 %
- Error Máximo Permisible: 2%
- Centro de Control: Ubicado en la estación maestra (Atlanta, Georgia) con respaldo en el Distrito Federal.
- Velocidad de Transmisión: Por lo menos de 2400 bps para los enlaces asíncronos y 9600 bps para los enlaces síncronos X.25.

Ahora realizaremos el dimensionamiento para cada nodo de la red. Como se puede apreciar en la tabla 2.3, en el capítulo 2; la concentración de las agencias de viajes a lo largo del territorio nacional no es uniforme, y los sitios de mayor concentración de agencias de viajes son como ya se mencionó anteriormente, las ciudades de Guadalajara, Distrito Federal y Monterrey. Debido a lo extenso que es el territorio nacional, y considerando las ciudades en las que se tiene la mayor concentración de agencias de viajes que emplean el servicio de reservaciones. Se procedió primeramente a dividir la extensión del territorio nacional en tres regiones:

- **Región 1.** Nodo principal ubicado en el Distrito Federal, la cual cubrirá 7 estados de la zona centro y sureste de la República Mexicana, comprendiendo los estados de: Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Yucatán y Tabasco. Cabe mencionar que ésta es la región que manejará la mayor cantidad de usuarios.
- **Región 2.** Nodo principal localizado en la ciudad de Guadalajara, Jalisco; la cobertura de ésta será la zona noroeste del territorio nacional, y parte del centro de la República Mexicana. Estará conformada por los estados de: Aguascalientes,

Baja California Norte, Baja California Sur, Colima, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Nayarit y Sinaloa.

- **Región 3.** Nodo principal ubicado en la ciudad de Monterrey, Nuevo León. La cobertura de esta última región abarcará la zona del Bajío y noreste del país, entre los estados comprendidos en éstas zonas tenemos a: Coahuila, Chihuahua, Durango, Nuevo León, San Luis Potosí, Sonora y Veracruz.

En la región 1 actualmente se maneja un promedio de 489 agencias de viajes, en la región 2 se tienen 319, y por último, la región 3 cuenta con un total de 194 usuarios; dando esto un total de 1002 agencias de viajes en el territorio nacional.

Ya que las agencias de viajes podrán acceder a la red a través de enlaces dedicados, (sean éstos mediante enlaces con líneas privadas, radio enlaces o enlaces con microondas) o por medio de líneas telefónicas de red conmutada, se considerará para el dimensionamiento de la red que un 30% del total de las agencias que empleen el sistema de tele-reservaciones accedan a la red a través de enlaces dedicados, y el resto por medio de líneas de red conmutada.

Para las tres regiones se está considerando que el horario pico es de 5 horas de un día de trabajo promedio en las Agencias de Viajes.

Región 1:

Se prevee tener un crecimiento del 20% en un periodo de dos años; considerando un margen de seguridad del 10% tenemos como resultado:

$$489 + 30\% = 635 \text{ agencias de viajes}$$

Considerando que un 25% de las mismas accesan a la red a través de enlaces dedicados (aproximadamente 160 agencias de viajes) , y que el 5% de éstas (8 agencias) sean agencias grandes que usarán enlaces síncronos, tendríamos se tiene que proporcionar el servicio de red conmutada aproximadamente a 475 agencias de viajes.

Ahora bien, tenemos que en promedio, una agencia de viajes realiza una reservación en aproximadamente 5 minutos, siempre y cuando se le garantice que podrá accederlo de manera rápida, sin tener estar intentando varias veces establecer la conexión al sistema. Esto nos lleva a considerar que por cada enlace de red conmutada que se tenga éste será capaz de soportar en una hora a 12 usuarios, sin embargo hay ocasiones en las que el agente de viajes permanece más tiempo consultando las bases de datos, por lo cual se considerará un tiempo promedio de 15 minutos por sesión. Y si a esto le agregamos el hecho de que no todas las agencias de viajes se conectan al sistema simultáneamente, ya que en las horas pico se ha detectado en la actualidad que entre un 20% y un 25% accesan al sistema simultáneamente, se manejará que un 70% de los usuarios efectúen la conexión al sistema en forma simultánea, previendo el crecimiento del sistema tenemos que:

$$476 \text{ usuarios} \times 70\% = 333 \text{ usuarios}$$

$$333 \text{ usuarios-modem-hora} / 4 \text{ usuarios/hora} = 83 \text{ modems}$$

Esto implicaría que se tendrá que contar con 83 modems para soportar el servicio de red conmutada, pero si se seleccionan modems de rack en los que la mayoría de los distribuidores de equipo de comunicaciones manejan 16 modems por rack, se deberán adquirir:

80 modems / 16 = 5 racks de modems

Ya que las líneas digitales se manejan en rotores (rotarys) con 16 líneas cada uno, se necesitarán 5 rotarys de 16 líneas telefónicas.

Para conectar estos modems a la red, se emplearán los PADs, los cuales se cuenta con una variada gama de proveedores en México, los cuales llegan a manejar 40 puertos asíncronos cada uno. Se tiene entonces:

80 puertos (línea conmutada) + 152 (enlaces dedicados) = 232 puertos asíncronos
232 puertos asíncronos / 40 puertos asíncronos = 6 PADs de 40 puertos

Región 2:

Haciendo las mismas consideraciones efectuadas para la región 1, tendremos que con el crecimiento previsto del 20% y un margen de seguridad del 10%, los 319 usuarios actuales, se incrementarán dando un total de:

$319 + 30\% = 415$ usuarios

Usuarios con enlaces dedicados: 30% de los 415 usuarios = 125 usuarios

$415 - 125 = 290$ usuarios con enlaces de red conmutada

$290 \times 70\% = 203$ usuarios con enlaces de red conmutada.

Enlaces simultáneos por hora:

$203 \text{ usuarios-modem-hora} / 4 \text{ usuarios /hora} = 51 \text{ modems}$

Cantidad de Racks con 16 modems:

$$51 \text{ modems} / 16 = 3 \text{ racks}$$

Cantidad de líneas digitales telefónicas:

$$51 \text{ líneas} / 16 = 3 \text{ rotarys con } 16 \text{ líneas} = 48 \text{ líneas telefónicas}$$

Cantidad de Puertos Asíncronos:

$$125 \text{ puertos dedicados} + 48 \text{ puertos de red conmutada} = 173 \text{ puertos}$$

Cantidad de PADs de 40 puertos:

$$173 \text{ puertos} / 40 = 4 \text{ PADs} + 13 \text{ puertos} = 5 \text{ PADs}$$

Región 3:

Refiriéndonos nuevamente a la tabla 2.3, encontramos que esta región tiene 194 usuarios, y tomando en cuenta el crecimiento estimado, se tendrá:

$$194 + 30\% = 252$$

Tomando la misma referencia para el cálculo de usuarios con enlaces dedicados, tenemos que 76 agencias de viajes contarán con enlaces dedicados, mientras que 176 agencias de viajes podrán acceder a través de líneas telefónicas de red conmutada.

Al preveer que un 70% de ésta última cantidad accederán a la red simultáneamente (123 usuarios) , y que cada uno permanecerá conectado un periodo de tiempo de 15 minutos, tendremos que se requiere de 31 modems para soportar dichos enlaces.

CONFIGURACION DE LA RED

Esta cantidad implicaría la posibilidad del uso de dos racks con 16 modems cada uno. Aplicando el mismo criterio para los rotarys de 16 líneas telefónicas digitales, tenemos que requerimos de 2.

Para el cálculo del número de PADs si se consideran éstos de 40 puertos asíncronos, necesitaremos 3 PADs.

	REGION 1	REGION 2	REGION 3	TOTAL
No. de modems	80	48	32	160
Racks de modem (16 modems)	5	3	2	10
No. de Rotarys (16 líneas)	5	3	2	10
No. PADs (40 pto. asíncronos)	6	5	3	14
No puertos asíncronos	408	167	104	679
No. puertos síncronos	8	6	4	18

Como se mencionó en el capítulo 2, el volumen de tráfico que maneja cada agencia de viajes en promedio es baja (2.5 Mbytes/mensualmente).

- En las horas pico, se llegan a realizar hasta 12 reservaciones, sean éstas de aviones, hoteles o automóviles.
- Durante una reservación, hay 8 transmisiones de datos en promedio. Cada reservación es de alrededor de 650 bytes.
- El máximo número de conexiones simultáneas que se manejará en las horas pico será de 512

Esto significa que si se desean soportar las 512 conexiones simultáneas en las horas pico, tendremos:

$$\begin{aligned}
 650 \text{ bytes/reservación} \times 12 \text{ reservaciones/hora} &= 7,800 \text{ bytes/hora} \\
 7,800 \text{ bytes/hora-conexión} \times 512 \text{ conexiones} &= 3,993,600 \text{ bytes/hora} \\
 &= 31,948,800 \text{ bytes/seg} \\
 &= 8,874.66 \text{ bits/segundo} \\
 &= 8.9 \text{ Kbps.}
 \end{aligned}$$

Considerando el tamaño de paquete X.25 que maneja el PAD que es de 128 bytes por segundo y los 7800 bytes/hora transmitidos por las agencias de viajes tenemos:

$$7,800 \text{ bytes por hora} / 3600 = 2.167 \text{ bytes /seg.}$$

Esto implica que los PADs pueden soportar el tráfico de información sin ningún problema.

Respecto al enlace de respaldo, al emplear el "Modelo de funcionamiento de la Red", el cual se basa en un grupo específico de nodos de red unidos entre sí por una serie de líneas o canales; tenemos que unir cuatro nodos para nuestro caso (D.F., Guadalajara y Monterrey). Si los interconectamos entre sí, obtenemos una matriz de flujo de datos de 3 X 3, empleando con ello 3 líneas, como se puede apreciar en la figura 4.23

Para verificar si la velocidad seleccionada para las líneas será capaz de soportar el tráfico de información que manejan las agencias de viajes (2.5 Mbytes mensualmente) procederemos a realizar el siguiente análisis:

Región 1: 2.5 Mbytes /mes = 77.16 bps
635 usuarios en un periodo de 2 años
 $635 \times 77.16 \text{ bps} = 48,996.9 \text{ bps}$

Región 2: $475 \times 77.16 \text{ bps} = 36,651.23 \text{ bps}$

Región 3: $415 \times 77.16 \text{ bps} = 32,031.60 \text{ bps}$

Con lo cual se comprueba que utilizando las líneas a una velocidad de 64 Kbps se puede obtener una calidad del sistema aceptable.

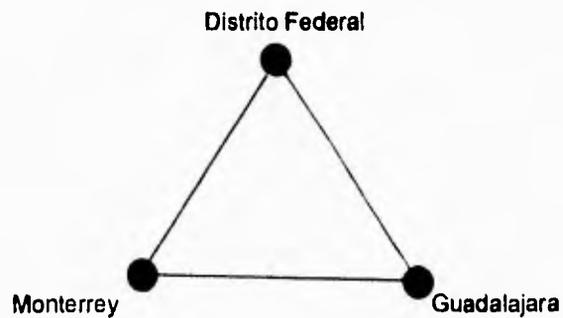


FIGURA 4.23 Interconexión de los nodos de la red

4.5 CALCULO DEL ENLACE

Desde el punto de vista de diseño del enlace, se tiene al canal de propagación, del cual dependerá la calidad total del enlace. Esta calidad se presenta por la relación que existe entre la potencia recibida y la potencia de ruido del receptor .

La relación depende de varios factores como la potencia de transmisión, el diámetro de las antenas, la frecuencia de operación de transmisión, la frecuencia de operación, el ancho de banda y las características de operación de los transpondedores.

El cálculo del enlace permite visualizar la optimización de las diferentes variables, como la potencia y el diámetro de las antenas de las estaciones terrenas y la calidad total del enlace.

Podemos decir que la **relación portadora a densidad de potencia de ruido** es la relación de la potencia de la señal a la potencia de ruido en un ancho de banda determinado; **C/No** se expresa en dB - Hz, y **C/N** que es la **relación portadora a ruido**, se expresa en dB.

Para obtener las relaciones (C/N), calcularemos el ancho de banda (BW), así como los valores de apuntamiento de la antena y de la distancia de la estación terrena (E/T) hacia el satélite.

Los parámetros necesarios para realizar los cálculos de enlace son los siguientes, los cuáles son obtenidos de tablas proporcionadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

A) Parámetros

- Confiabilidad deseada
- Relación E/No requerida
- Diámetro de las estaciones terrenas
- Velocidad de información de las portadoras
- Figura de mérito de las estaciones terrenas
- Modulación
- Punto de operación del modem

Del satélite se requiere saber:

- Densidad de flujo de saturación
- PIRE
- Figura de mérito
- Ajuste del atenuador de posición
- Back off de entrada y salida
- Frecuencia de operación

Con respecto a los márgenes de atenuación:

- Pérdidas por absorción en el enlace ascendente
- Pérdidas por absorción en el enlace descendente
- Pérdidas por apuntamiento
- Pérdidas por precipitación en el enlace ascendente
- Pérdidas por precipitación en el enlace descendente

B) Enlace Ascendente (Estación Terrena - Satélite)

El enlace ascendente es el enlace en el cual la estación terrena está transmitiendo la señal y el satélite la recibe.

Para el enlace ascendente, la relación $(C/N)_{ASC}$ dependerá de la potencia de la estación terrena transmisora, de la ganancia de la antena y temperatura de ruido en el satélite y de las pérdidas por atenuación en el espacio libre y se calcula como:

$$(C/N)_{ASC} = (C/No)_{ASC} - \log (BW) \text{ [dB]}$$

$(C/No)_{ASC}$: Relación portadora a densidad de ruido ascendente

(BW) : Ancho de banda

A continuación se obtendrán cada uno de los términos de la fórmula.

1) Ancho de banda.

La diferencia entre la frecuencia más alta y la más baja que puede se transmitida en un canal y se calcula como:

$$BW = V_{inf} (FEC)^{-1} (FM) \text{ (Roll off) [Hz]}$$

donde:

BW : Ancho de banda

V_{inf} : Velocidad de información

FEC: Forward Error Correction - Factor de corrección de error, el cual se define como el sistema de detección y corrección de errores. El valor de

codificación indica la relación entre los bits de información y los utilizados para la detección y corrección de errores.

FM: Factor de modulación (0.5 para modulación QPSK)

Roll off: Factor de calidad de los filtros del equipo

2) Apuntamiento de antena y distancia de la estación terrena al satélite

- *Angulo de Azimut (A)*

Podemos definirlo como la dirección del satélite con respecto al observador expresada como el ángulo en el plano horizontal entre una línea de referencia (generalmente el Norte) y la proyección horizontal de la línea que une los dos puntos.

$$A = \text{tag}^{-1} [\text{tag} (\text{long sat} - \text{long E/T}) / \text{sen lat E/T}]$$

- *Angulo de Elevación (E)*

Es el ángulo medido a partir de la horizontal local hacia la línea que une al observador con el satélite.

$$E = \text{tag}^{-1} [R - R_e (\omega) / R_e \text{sen} (\text{coe}^{-1} \omega)] - \text{coe}^{-1} \omega$$

donde:

ω : $\text{cos lat E/T} [\text{cos}(\text{log sat} - \text{log E/T})]$

R: 42,164.2 Km. (distancia promedio del centro de la tierra al satélite)

Re: 6378.155 Km. (radio promedio de la tierra)

Distancia entre la estación terrena (E/T) y el satélite

$$D = [(R)^2 + (Re)^2 - [2Re (R) \text{sen} [E + \text{sen}^{-1} [(Re/R) \cos E]]]]^{1/2}$$

3) La relación portadora a densidad de ruido ascendente se calcula como:

$$(C/No)_{ASC} = PIRE_{ET} + (G/T)_{SAT} - L_s - L_{\Delta} - \mu - K \quad [dB-Hz]$$

donde:

PIRE_{ET}: La potencia efectiva radiada isotrópicamente (Describe la combinación del transmisor y la antena en términos de una fuente isotrópica equivalente). Esto es igual a la ganancia de la antena multiplicada por la potencia transmitida.

G/T: Figura de mérito del satélite en la localidad transmisora. especifica la calidad de la estación terrena, entonces incrementando G/T se incrementa la (C/N). Relaciona la ganancia de la antena con la temperatura de ruido del receptor y se expresa en dB/K.

L_s: Pérdidas en el espacio libre. La pérdida de la potencia que resulta de la propagación de la señal en el espacio. Los cálculos son similares tanto para el enlace ascendente como descendente.

$$L = 20 \log (4\pi DF/c) [dB]$$

F: Frecuencia en hertz

D: Distancia entre la E/T y el satélite [m]

c: Velocidad de la luz (3×10^8 m/s)

L_A: Pérdidas misceláneas, es la sumatoria de las pérdidas por apuntamiento, por despolarización y por absorción atmosférica.

μ: Margen de atenuación por lluvia. La atenuación de las ondas de radio, propagándose a través de la lluvia es debido a la absorción y la dispersión que sufren las ondas de radio, o sea, debido a las "gotas de lluvia"

K: Constante de Boltzman = 228.6 [dBJ/°K]

4) Cálculo de la razón de potencia de la portadora al ruido ascendente del sistema

(C/N)_{ASCIST}:

$$(C/N)_{ASCIST} = 10 \log \left[\frac{1}{\log^{-1} \frac{(C/N)_{ASC}}{10} + \log^{-1} \frac{(C/I)_{INTER}}{10} + \log^{-1} \frac{(C/X)_{SADY}}{10} + \log^{-1} \frac{(C/X)_{POLCRZ}}{10}} \right]$$

donde:

(C/I)_{INTER}: Densidad de interferencia por intermodulación. Dependerá de los productos de intermodulación producidos por la no linealidad de los amplificadores del satélite, para lo cual se deberán operar en puntos óptimos que permitan reducir al máximo dicho ruido de intermodulación. (Dato de acuerdo al satélite a utilizar)

(C/X)_{POLCRZ}: Densidad de interferencia por polarización cruzada. Una medida de la conversión de potencia de una polarización a una polarización ortogonal. (Dato de acuerdo al satélite a utilizar)

(C/I)_{SADY}: Densidad de interferencia por satélite adyacente Es la interferencia de otros servicios de satélites. La radiación de los lóbulos laterales de la antena de una estación terrena pueden resultar en la interferencia del satélite receptor deseado y la señal de un satélite adyacente puede ser atrapada por los lóbulos laterales de la antena de la estación terrena de interés. (Dato de acuerdo al satélite a utilizar)

5) Cálculo de la potencia de salida del HPA de la estación terrena transmisora

Se calcula la potencia en watts que deberá entregar a la salida el "Amplificador de alta potencia" llamado comúnmente HPA que corresponden a las siglas en inglés (High Power Amplifier) en función del PIRE valuado en la antena.

Este HPA se calcula como sigue:

$$P_{HPA} = PIRE_{ET} - G_{TX} + L_{ALIM} \text{ [dBW]}$$

donde:

$PIRE_{ET}$: Potencia efectiva radiada isotrópicamente de la estación terrena

G_{TX} : Ganancia de la antena en transmisión

L_{ALIM} : Pérdidas que sufre la señal hasta antes de ser radiada por la antena, en la estación terrena (guías de onda, conectores, diplexores etc.)

C) Enlace Descendente (Satélite - Estación Terrena)

El enlace descendente es el enlace en el cual el satélite está transmitiendo la señal a la estación terrena.

La relación de potencia de la portadora a la potencia de ruido del enlace descendente $(C/N)_{DESC}$ está en función de la potencia y la ganancia de la antena del satélite, la ganancia de la antena y la temperatura de ruido de la estación terrena, así como también de la atenuación en el espacio libre en la trayectoria descendente y es la siguiente:

$$(C/N)_{DESC} = (C/No)_{DES} - 10 \log (BW) \text{ [dB]}$$

donde:

BW: Ancho de banda de la portadora

$(C/No)_{DES}$: Relación portadora a densidad de ruido descendente.

1. La relación portadora a densidad de ruido se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$(C/No)_{DESC} = PIRE_{SAT} + (G/T)_{ET} - L_s - L\Delta - \mu - k \text{ [dB-Hz]}$$

donde:

$PIRE_{SAT}$: PIRE por portadora desde el satélite

$(G/T)_{ET}$: Figura de mérito de la estación terrena (varía según las características del equipo de la estación terrena).

L_s : Pérdidas en el espacio libre.

$L\Delta$: Pérdidas misceláneas (es la sumatoria de las pérdidas por apuntamiento , por despolarización y por absorción atmosférica

k : Constante de Boltzman = -228.6 [dBJ^ok]

Para determinar la relación portadora a densidad de ruido descendente $(C/N_0)_{DESC}$ primero se obtendrán las relaciones: $PIRE_{SAT}$, la $(G/T)_{ET}$ y el de Ls, las cuales se evalúan mediante las siguientes ecuaciones:

a) Potencia isotrópica efectiva radiada del satélite $PIRE_{SAT}$

$$PIRE_{SAT} = -DFS_{TX} - ATP + BOI - Lp_{ASC} + PIRE_{ET} - BOO + PIRE_{SAT(RX)} \text{ [dBW]}$$

donde:

DFS_{TX}: Densidad de flujo. Potencia por unidad de área cuando una onda electromagnética es incidente en una superficie. El flujo de densidad requerido en la antena de recepción para producir saturación del TWTA (traveling wave tube amplifier) es denominado densidad de flujo en saturación. (Dato de acuerdo a tablas que entrega SCT)

ATP: Atenuador de posición (dato de acuerdo a tablas que entrega SCT)

BOI: Back off de entrada

BOO: Back off de salida. El back off de entrada - salida es el proceso de reducir los niveles de potencia a la entrada y salida de un amplificador (por ejemplo en un tubo de onda progresiva), para operar en la región lineal con el objeto de reducir el ruido de intermodulación. Son características del satélite a utilizar.

PIRE_{ET}: PIRE por portadora desde la estación terrena (dato que especifica SCT para cada sitio)

$PIRE_{SAT(RX)}$: PIRE del satélite para la localidad receptora (dato que especifica SCT para cada sitio)

L_{PASC} : Pérdidas por dispersión

$$L_{PASC} = 10 \log (4\pi D^2) \text{ [dB]}$$

donde: D = distancia al satélite (Km)

b) Figura de mérito de la estación terrena $(G/T)_{ET}$

$$(G/T)_{ET} = G_{RX} - 10 \log (T_s - \Delta T) \text{ [dB-°K]}$$

donde:

G_{RX} : Ganancia de la antena en recepción

T_s : Temperatura total del sistema. Determina cuánto ruido térmico es generado por dispositivos activos y pasivos en el sistema de recepción. Se evalúa mediante la siguiente ecuación:

$$T_s = T_{LNA} + T_{ANT} \text{ [°K]}$$

T_{LNA} : Temperatura característica del amplificador de bajo nivel de ruido

T_{ANT} : Temperatura de la antena, se determina por medio del ángulo de elevación de la antena y los datos que proporciona el fabricante.

$$\Delta T = [1 - \log^{-1} (-\mu_{DES}/10)275]$$

$PIRE_{SAT(RX)}$: PIRE del satélite para la localidad receptora (dato que especifica SCT para cada sitio)

L_{PASC} : Pérdidas por dispersión

$$L_{PASC} = 10 \log (4\pi D^2) \text{ [dB]}$$

donde: D = distancia al satélite (Km)

b) Figura de mérito de la estación terrena $(G/T)_{ET}$

$$(G/T)_{ET} = G_{RX} - 10 \log (T_s - \Delta T) \text{ [dB}\cdot\text{°K]}$$

donde:

G_{RX} : Ganancia de la antena en recepción

T_s : Temperatura total del sistema. Determina cuánto ruido térmico es generado por dispositivos activos y pasivos en el sistema de recepción. Se evalúa mediante la siguiente ecuación:

$$T_s = T_{LNA} + T_{ANT} \text{ [°K]}$$

T_{LNA} : Temperatura característica del amplificador de bajo nivel de ruido

T_{ANT} : Temperatura de la antena, se determina por medio del ángulo de elevación de la antena y los datos que proporciona el fabricante.

$$\Delta T = [1 - \log^{-1} (-\mu_{DES}/10)]275 \text{ [°K]}$$

c) Cálculo de las pérdidas por el espacio libre L_s

Las pérdidas por el espacio libre para el enlace descendente se evalúan al igual que en el enlace ascendente, mediante la ecuación:

$$L_s = 20 \log (4\pi DF/c) \text{ [dB]}$$

utilizando en este caso la distancia al satélite y la frecuencia de la estación receptora.

2) Relación potencia de portadora al ruido descendente del sistema $(C/N)_{DESCIST}$:

$$(C/N)_{DESCIST} = 10 \log \left[\frac{1}{\log^{-1} \left(\frac{(C/N)_{DESC}}{10} \right) + \log^{-1} \left(\frac{(C/I)}{10} \right) + \log^{-1} \left(\frac{(C/X)_{SATY}}{10} \right) + \log^{-1} \left(\frac{(C/X)_{POLCRZ}}{10} \right)} \right]$$

D) Evaluación del Enlace

1) Determinación de la relación portadora a ruido total del sistema $(C/N)_{TOTIST}$

Es la suma de la relación portadora a ruido ascendente del sistema $(C/N)_{ASCIST}$ y la relación portadora a ruido descendente del sistema $(C/N)_{DESCIST}$:

$$(C/N)_{TOTIST} = 10 \log \left[1 / \left[1 / \log^{-1} \left((C/N)_{ASCIST} / 10 \right) + 1 / \log^{-1} \left((C/N)_{DESCIST} \right) \right] \right] \text{ [dB]}$$

2) Factor de calidad del enlace FC

El índice que nos indica si un enlace es satisfactorio, es el factor de calidad del enlace (FC), el cual se evalúa mediante la siguiente ecuación:

$$FC = (C/N)_{TOT\SIST} - (C/N)_{REQ}$$

donde $(C/N)_{REQ}$ es la relación de potencia de la portadora a la potencia de ruido recibida que el sistema requiere para que la información enviada desde la estación terrena transmisora sea recibida correctamente en la estación receptora. Dicha relación dependerá de los parámetros del servicio cursado (voz, datos y/o video) y su ecuación es la siguiente:

$$(C/N)_{REQ} = Eb/No - 10\log(BW) + 10\log(Vel)$$

donde:

Eb/No: Relación de la energía de bit a la densidad de ruido. Es la relación de la energía de bit al ancho de banda normalizada a 1Hz. Este término es un método para expresar la relación de la señal a ruido de una señal de portadora modulada digitalmente.

BW: Ancho de banda

Vel: Velocidad de información

Para asegurar que la confiabilidad deseada en el enlace sea la correcta, el factor de calidad del enlace debe ser mayor o igual que 0dB, esto implicará que la relación portadora a ruido total del sistema $(C/N)_{TOT\SIST}$ sea por lo menos igual a la relación de potencia de la portadora a ruido mínima requerida por el sistema.

Cálculo de enlace de la Red Satelital propuesta

Los cálculos se elaboraron con una velocidad de información de 64 Kbps y modulación QPSK. Se utilizó esta velocidad debido a la cantidad y el tipo de información (operaciones transaccionales). Las antenas son de 2,4 mts de diámetro en Atlanta y de 1.8 ms en las otras ciudades. Los amplificadores (HPA) son de 2 Watts.

Dentro de la cobertura del Satélite Solidaridad I, Atlanta se encuentra en la región 5 (este de Estados Unidos), la República mexicana está dentro de la región 4 (ver figuras 4.4 y 4.5)

PROCEDIMIENTO PARA EL CALCULO DEL ENLACE SATELITAL

- A) DATOS REQUERIDOS PARA EL CALCULO DEL ENLACE
- B) ENLACE ASCENDENTE.
- C) ENLACE DESCENDENTE.
- D) EVALUACIÓN DEL ENLACE.

A) Parámetros requeridos para el cálculo del enlace

A.1) Del satélite:

Satélite:	Solidaridad I
Longitud Oeste:	109.20°
Banda de operación:	Ku
Frecuencia ascendente:	14.25 GHz
Frecuencia descendente:	11.95 GHz
Tipo de transpondedor:	6K y 8K
Back off de entrada (BOI):	7.5 dB
Back off de salida (BOO):	5.1 dB
Atenuador de posición:	20 dB

CONFIGURACION DE LA RED

A.2) De la señal a transmitir:

Velocidad:	64 Kbps
Modulación:	QPSK
Roll off:	14%
F.E.C.:	0.5
BER:	10^{-7}
Eb/No:	5.43 dB
F.M:	0.5

A.3) De las estaciones terrenas transmisoras y receptoras

	MEXICO D.F.	MONTERREY	GUADALAJARA	ATLANTA
Latitud norte:	19.35	25.68	20.72	33.45
Longitud oeste:	99.01	100.3	103.38	84.24
Diámetro de la antena (m):	1.8	1.8	1.8	2.4
Ganancia de la antena Tx (dBi):	46.81	46.81	46.81	49.3
Ganancia de la antena Rx (dBi):	45.28	45.28	45.28	47.75
Temperatura del sistema (K):	245.10	245.10	245.10	220.34

CONFIGURACION DE LA RED

A.4) Del satélite para las localidades de interés.

	MEXICO D.F.	MONTERREY	GUADALAJARA	ATLANTA
DFS (dBW/m²):	-100.80	-97.90	-97.20	-98.0
PIRE (dBW):	50.50	51.30	50.50	47.40
G/T (dB/K):	9.30	6.40	5.60	7.50

A.5) De densidad de interferencia:

	ASCENDENTE	DESCENDENTE
Satélite adyacente:	-120.0	-12.0
Polarización cruzada:	-112.6	-106.5
Intermodulación:	-106.0	-100.7

Enlace MEXICO D.F. - ATLANTA

B) ENLACE ASCENDENTE

$$(C/N)_{ASC} = (C/No)_{ASC} - \log (BW)$$

B1) Ancho de banda

$$BW = V_{HF}(FEC)^{-1}(FM)(Rolloff)$$

$$BW = (64,000)(0.5)^{-1}(0.5)(1.14)$$

$$BW = 72.96 \text{ [KHz]}$$

B2) Apuntamiento de antena y distancia de la Estación Terrena (E/T) al Satélite

México D.F.

Angulo de Azimut (A)

$$A' = \text{tag}^{-1} [(\text{tag} (\text{longsat} - \text{long}_{E/T}) / \text{sen}(\text{lat}_{E/T}))]$$

$$A' = \text{tag}^{-1} [(\text{tag} (109.2 - 99.01)) / \text{sen}(19.35)]$$

$$A' = 28.4794^\circ$$

debido a que la estación en México se encuentra al este del satélite se ocupa la siguiente relación:

$$A = 180^\circ + A'$$

$$A = 180 + 28.4794$$

$$A = 208.48^\circ$$

Angulo de Elevación (E)

$$E = \text{tag}^{-1} [(R - R_e (\omega)) / (R_e \text{sen}(\cos^{-1} \omega)) - (\cos^{-1} \omega)]$$

$$\omega = \cos \text{latE/T} [\cos(\text{latE/T} - \text{longE/T})]$$

$$\omega = \cos 19.35 [\cos(109.2 - 99.01)]$$

$$\omega = 0.9286$$

R = 42164.2 Km (distancia promedio de la Tierra al satélite)

Re = 6378.155 Km (radio promedio de la Tierra)

$$E = \text{tag}^{-1} [(42164.2 - (6378.155)(0.9286)) / 6378.155 \text{sen} (\cos^{-1} (0.9286)) - (\cos^{-1} (0.9286))]$$

$$E = \text{tag}^{-1} [36241.45 / 2366.8201] - 21.7824$$

$$E = 64.4811^\circ$$

Distancia entre la estación terrena y el satélite

$$D = [R^2 + R_e^2 - [2R_e(R) \text{sen}[E + \text{sen}^{-1} [(R_e/R) \cos E]]]]^{1/2}$$

$$D = [42164.2^2 + 6378.155^2 - [2(6378.155)(42164.2) \text{sen}[64.4811 + \text{sen}^{-1} (6378.155/42164.2) \cos 64.4811]]]^{1/2}$$

$$D = 36,318.61 \text{ [Km]}$$

Angulo de Elevación (E)

$$E = \text{tag}^{-1} [(R - R_e (\omega)) / (R_e \text{ sen}(\text{cos}^{-1} \omega))] - (\text{cos}^{-1} \omega)$$

$$\omega = \text{cos latE/T}[\text{cos}(\text{latE/T} - \text{longE/T})]$$

$$\omega = \text{cos } 19.35 [\text{cos}(109.2 - 99.01)]$$

$$\omega = 0.9286$$

R = 42164.2 Km (distancia promedio de la Tierra al satélite)

Re = 6378.155 Km (radio promedio de la Tierra)

$$E = \text{tag}^{-1} [(42164.2 - (6378.155)(0.9286)) / 6378.155 \text{ sen}(\text{cos}^{-1}(0.9286)) - (\text{cos}^{-1}(0.9286))$$

$$E = \text{tag}^{-1} [36241.45 / 2366.8201] - 21.7824$$

$$E = 64.4811^\circ$$

Distancia entre la estación terrena y el satélite

$$D = [R^2 + R_e^2 - [2R_e(R) \text{ sen}[E + \text{sen}^{-1} [(R_e/R) \text{ cos } E]]]]^{1/2}$$

$$D = [42164.2^2 + 6378.155^2 - [2(6378.155)(42164.2) \text{ sen}[64.4811 + \text{sen}^{-1} (6378.155/42164.2) \text{ cos } 64.4811]]]^{1/2}$$

$$D = 36,318.61 \text{ [Km]}$$

Atlanta

Angulo de Azimut (A)

$$A' = \text{tag}^{-1} [\text{tag}(109.2 - 84.24) / \text{sen}(33.45)]$$

$$A' = 40.17$$

Debido a que la estación en Atlanta se encuentra al Este del satélite se ocupa la relación:

$$A = 180^\circ + A'$$

$$A = 180 + 40.17$$

$$A = 220.18^\circ$$

Angulo de elevación (E)

$$\omega = \cos(33.45) [\cos(109.2 - 84.24)]$$

$$\omega = 0.7564$$

$$E = \text{tag}^{-1} [(42164.2 - (6378.155)(0.7564)) / (6378.155 \text{ sen}(\cos^{-1}(0.7564))) - \cos^{-1}(0.7564)]$$

$$E = \text{tag}^{-1}(37339.7636 / 41717.199) - 40.8487$$

$$E = 42.78^\circ$$

Distancia entre la estación terrena y el satélite (D)

$$D = \left[42164.2^2 + 6378.155^2 - 2(6378.15)(42164.2) \text{sen} \left[42.78 + \text{sen}^{-1} \left[\left(\frac{6378.155}{42164.2} \right) \cos 42.78 \right] \right] \right]^{1/2}$$

$$D = (1818500623.0 - 406877890.0)^{1/2}$$

$$D = 37,571.5418 \text{ [Km]}$$

B3) Relación portadora a densidad de ruido ascendente $(C/N_0)_{ASC}$

$$(C/N_0)_{ASC} = PIRE_{ET} + (G/T)_{ET} - L_s - L\Delta - \mu - k$$

$$PIRE_{ET} = 41.15 \text{ [dBW]}$$

$$(G/T)_{ET} = 9.30 \text{ [dB/K]}$$

$$K = -228.6 \text{ [dBj/K]}$$

$$\mu = -2.20 \text{ [dB]}$$

$$L\Delta = 1.4 \text{ [dB]}$$

Pérdidas en el espacio libre ascendente

$$L_s = 20 \log [4\pi DF / c]$$

$$D = 36318.61 \text{ Km}$$

$$F = 14.25 \text{ GHz}$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$L_s = 20 \log \frac{4\pi(36318.61)(14.25 \times 10^9)}{300 \times 10^3}$$

$$L_s = 206.7207 \text{ [dB]}$$

Sustituyendo valores en la ecuación (C/N_0)

$$(C/N_0) = 41.15 + 9.3 - (-228.6) - 206.7207 - (-2.20) - 1.4$$

$$(C/N_0) = 73.1293 \text{ [dB-Hz]}$$

B4) Relación portadora a ruido ascendente $(C/N)_{ASC}$

$$(C/N)_{ASC} = (C/N_D)_{ASC} - 10\log BW$$

$$(C/N)_{ASC} = 73.1293 - 10\log[72.96]$$

$$(C/N)_{ASC} = 73.1293 - 48.6308$$

$$(C/N)_{ASC} = 24.50 \text{ [dB]}$$

B5) Relación portadora a ruido ascendente del sistema $(C/N)_{ASC \text{ SIST}}$

$$(C/N)_{ASC \text{ SIST}} = 10\log \left[\frac{1}{\log^{-1}\left(\frac{(C/N)_{ASC}}{10}\right) + \log^{-1}\left(\frac{(C/I)_{INT}}{10}\right) + \log^{-1}\left(\frac{(C/X)_{SATDY}}{10}\right) + \log^{-1}\left(\frac{(C/X)_{POLCRZ}}{10}\right)} \right]$$

Sustituyendo valores se tiene:

$$(C/I)_{INT} = 22.30 \text{ dB}$$

$$(C/X)_{POLCRZ} = 28.90 \text{ dB}$$

$$(C/X)_{SATDY} = 36.30 \text{ dB}$$

$$(C/N)_{ASC \text{ SIST}} = 10\log \left[\frac{1}{\log^{-1}(24.5/10) + \log^{-1}(22.3/10) + \log^{-1}(36.3/10) + \log^{-1}(28.9/10)} \right]$$

$$(C/N)_{ASC \text{ SIST}} = 19.626 \text{ [dB]}$$

B6) Cálculo de la potencia de salida del HPA de la estación terrena transmisora

$$P_{HPA} = PIRE_{E/T} - G_{TX} + L_{ALIM}$$

México D.F.

$$P_{HPA} = 41.15 - 46.81 - (-0.5)$$

$$P_{HPA} = -5.16 \text{ dBW} = 0.304 \text{ Watts}$$

Atlanta

$$P_{HPA} = 40.73 - 49.31 - (-0.5)$$

$$P_{HPA} = -8.08 \text{ dBW} = 0.16 \text{ Watts}$$

C) Enlace Descendente

$$(C/N)_{DESC} = (C/No)_{DES} - 10 \log (BW)$$

C1) Relación portadora a densidad de ruido descendente

$$(C/No)_{DESC} = PIRE_{SAT} + (G/T)_{E/T} - L_S - L_A - \mu - k$$

a) PIRE del satélite:

$$PIRE_{SAT} = -DFS_{TX} - ATP + BOI - LP_{ASC} + PIRE_{EIT} - BOO + PIRE_{RX}$$

$$DFS = -100.8 \text{ [dBW/m}^2\text{]}$$

$$ATP = 20 \text{ [dB]}$$

$$BOI = 7.5 \text{ [dB]}$$

$$PIRE_{ET} = 40.73 \text{ [dBW]}$$

$$BOO = 5.10 \text{ [dB]}$$

$$PIRE_{RX} = 47.40 \text{ [dBW]}$$

$$L_{P_{Asc}} = 10 \log (4\pi D^2)$$

$$L_{P_{Asc}} = 10 \log (4\pi(36318.61)^2)$$

$$L_{P_{Asc}} = 162.1945 \text{ [dB]}$$

Sustituyendo valores tenemos:

$$PIRE_{ET} = -(-100.8) - 20 + 7.5 - 162.1945 + 40.73 - 5.1 + 47.40$$

$$PIRE_{ET} = 9.1355 \text{ [dBW]}$$

b) Pérdidas de espacio libre descendente:

$$L_S = 20 \log \left(\frac{4\pi DF}{C} \right)$$

$$D = 37571.78 \text{ Km}$$

$$F = 11.95 \text{ Ghz}$$

$$C = 300\,000 \text{ Km/s}$$

$$L_S = 20 \log [4\pi(37571.78)(11.95 \times 10^9)/(300\,000)]$$

$$L_S = 205.4864 \text{ [dB]}$$

c) Figura de mérito de la antena ubicada en Atlanta (Rx):

$$(G/T)_{ET} = G_{RX} - 10 \log(T_s - \Delta T) \text{ dB K}$$

$$G_{RX} = 47.75$$

$$T_s = T_{LNA} + T_{ANT} = 200 + 20.34 = 220.34$$

$$\Delta T = \left[1 - \log^{-1} \left(\frac{\mu_{DESC}}{10} \right) \right] (275)$$

$$\Delta T = \left[1 - \log^{-1} \left(\frac{-2.20}{10} \right) \right] (275)$$

$$\Delta T = 109.29 \text{ [K]}$$

Sustituyendo valores:

$$(G/T)_{ET} = 47.75 - 10 \log(220.34 - 109.29)$$

$$(G/T)_{ET} = 27.295 \text{ [dB °K]}$$

$$(C/No)_{DESC} = 9.1355 + 27.2951 - (-228.6) - 205.4864 - (-2.2) - 1.4$$

$$(C/No)_{DESC} = 60.3442 \text{ [dB-Hz]}$$

C2) Relación portadora a ruido descendente $(C/N)_{DESC}$

$$(C/N)_{DESC} = (C/No)_{DESC} - 10 \log(BW) \text{ [dB]}$$

$$(C/N)_{DESC} = 60.3442 - 10 \log(72960)$$

$$(C/N)_{DESC} = 11.7134 \text{ [dB]}$$

C3) Relación portadora a ruido descendente del sistema $(C/N)_{DESCSIST}$

$$(C/N)_{DESCSIST} = 10 \log \left[\frac{1}{\log^{-1}\left(\frac{(C/N)_{DESC}}{10}\right) + \log^{-1}\left(\frac{(C/I)}{10}\right) + \log^{-1}\left(\frac{(C/X)_{SATY}}{10}\right) + \log^{-1}\left(\frac{(C/X)_{POLCRZ}}{10}\right)} \right]$$

$$(C/N)_{DESCSIST} = 10 \log \left[\frac{1}{\log^{-1}\left(\frac{5.3999}{10}\right) + \log^{-1}\left(\frac{19.40}{10}\right) + \log^{-1}\left(\frac{25.90}{10}\right) + \log^{-1}\left(\frac{25.20}{10}\right)} \right]$$

$$(C/N)_{DESCSIST} = 10 \log [1/\log^{-1}(11.7134/10) + \log^{-1}(19.40/10) + 1\log^{-1}(25.9/10) + 1\log^{-1}(25.2/10)]$$

$$(C/N)_{DESCSIST} = 6.8 \text{ [dB]}$$

D) Evaluación del enlace

D1) Determinación de la $(C/N)_{TOTsIST}$ del sistema:

$$(C/N)_{TOTSIST} = 10 \log \left[\frac{1}{\log^{-1} \frac{(C/N)_{ASCSIST}}{10} + \log^{-1} \frac{(C/N)_{DESCSIST}}{10}} \right] \text{ dB}$$

$$(C/N)_{TOTSIST} = 10 \log [1 / \log^{-1}(19.626/10) + 1 / \log^{-1}(6.8/10)]$$

$$(C/N)_{TOTSIST} = 6.5581 \text{ [dB]}$$

D2) Factor de calidad del enlace FC:

$$FC = (C/N)_{TOTSIST} - (C/N)_{REQ} \text{ [dB]}$$

a) Relación portadora a ruido requerido $(C/N)_{REQ}$

$$(C/N)_{REQ} = (Eb/No) - 10 \log (BW) + 10 \log (Vel)$$

$$(C/N)_{REQ} = 5.43 - 48.63 + 48.06$$

$$(C/N)_{REQ} = 4.86 \text{ [dB]}$$

sustituyendo valores:

$$FC = 6.5581 - 4.86$$

$$FC = 1.7 \text{ [dB]}$$

$FC > 0$ dB y el enlace es confiable.

Enlace MONTERREY - ATLANTA

B) Enlace Ascendente

B1) Ancho de banda:

$$BW = V_{INF}(FEC)^{-1}(FM)(Rolloff)$$

$$BW = 72.96 \text{ KHz}$$

B2) Apuntamiento de la antena y distancia al satélite.

Monterrey:

Angulo de azimut A:

$$A' = \text{tag}^{-1} [(\text{tag} (\text{longsat} - \text{long } E/T)) / \text{sen}(\text{lat } E/T)]$$

$$A' = \text{tag}^{-1} [(\text{tag} (109.2 - 100.3)) / \text{sen}(25.68)]$$

$$A' = 19.868^\circ$$

debido a que la estación en Monterrey se encuentra al oeste del satélite se ocupa la siguiente relación:

$$A = 180^\circ + A'$$

$$A = 180 + 19.868$$

$$A = 199.87^\circ$$

Angulo de elevación E:

$$E = \text{tag}^{-1} [(R - R_e(\omega)) / (R_e \text{sen}(\text{cos}^{-1} \omega))] - (\text{cos}^{-1} \omega)$$

$$\omega = \text{coslat } E/T[\text{cos}(\text{lat } E/T - \text{long } E/T)]$$

CONFIGURACION DE LA RED

$$\omega = \cos 25.68 [\cos(109.2 - 100.3)]$$

$$\omega = 0.8903$$

R = 42164.2 Km (distancia promedio de la Tierra al satélite)

Re = 6378.155 Km (radio promedio de la Tierra)

$$E = \tan^{-1} \left[\frac{(42164.2 - (6378.155)(0.8903))}{6378.155 \sin(\cos^{-1}(0.8903))} - (\cos^{-1}(0.8903)) \right]$$

$$E = \tan^{-1} [36485.7286/2904.45] - 27.089$$

$$E = 58.3596^\circ$$

Distancia entre la estación terrena y el satélite:

$$D = \left[R^2 + R_e^2 - \left[2R_e(R) \sin \left[E + \sin^{-1} \left(\frac{R_e}{R} \cos E \right) \right] \right] \right]^{1/2}$$

$$D = [42164.2^2 + 6378.155^2 - \{2(6378.155)(42164.2) \sin[58.3596 + \sin^{-1}(6378.155/42164.2) \cos 58.3596]\}]^{1/2}$$

$$D = 36601.1470 \text{ [Km]}$$

B3) Relación portadora a densidad de ruido ascendente $(C/No)_{ASC}$

$$(C/No)_{ASC} = PIRE_{ET} + (G/T)_{SAT} - L_s - L\Delta - \mu - k$$

$$PIRE_{ET} = 41.25 \text{ [dBW]}$$

$$(G/T)_{SAT} = 6.4 \text{ [dBK]}$$

$$K = -228.6 \text{ [dBJ/K]}$$

$$\mu = -2.20 \text{ [dB]}$$

$$L\Delta = 1.4 \text{ [dB]}$$

Pérdidas en el espacio libre ascendente:

$$L_s = 20 \log \left(\frac{4\pi DF}{C} \right)$$

$$L_s = 20 \log [4\pi(36601.1470)(14.25 \times 10^9) / 300 \times 10^3]$$

$$L_s = 206.788 \text{ [dB]}$$

sustituyendo valores:

$$(C/N_o)_{ASC} = 41.25 + 6.4 - (-228.6) - 206.788 - (-2.2) - 1.4$$

$$(C/N_o)_{ASC} = 70.2620 \text{ [dB-Hz]}$$

B4) Relación portadora a ruido ascendente $(C/N)_{ASC}$:

$$(C/N)_{ASC} = (C/N_o)_{ASC} - 10 \log BW$$

$$(C/N)_{ASC} = 70.2620 - 10 \log [72.96]$$

$$(C/N)_{ASC} = 70.2620 - 48.6308$$

$$(C/N)_{ASC} = 21.6311 \text{ [dB]}$$

B5) Relación portadora a ruido ascendente del sistema $(C/N)_{ASCIST}$

$$(C/N)_{ASCIST} = 10 \log \left[\frac{1}{\log^{-1} \left(\frac{(C/N)_{ASC}}{10} \right) + \log^{-1} \left(\frac{(C/I)_{INT}}{10} \right) + \log^{-1} \left(\frac{(C/X)_{SATY}}{10} \right) + \log^{-1} \left(\frac{(C/X)_{POLCRZ}}{10} \right)} \right]$$

$$(C/I)_{INT} = 19.44 \text{ [dB]}$$

$$(C/X)_{POLCRZ} = 26.04 \text{ [dB]}$$

$$(C/X)_{SATADY} = 33.44 \text{ [dB]}$$

sustituyendo valores

$$(C/N)_{ASCIST} = 10 \log[1/\log^{-1}(21.6311/10)+1/\log^{-1}(19.44/10)+1/\log^{-1}(33.44/10)+10 \log^{-1}(26.04/10)]$$

$$(C/N)_{ASCIST} = 15.87 \text{ [dB]}$$

B6) Cálculo de la potencia de salida del HPA de la estación terrena transmisora

$$P_{HPA} = PIRE_{E/T} - G_{TX} + L_{ALIM}$$

Monterrey

$$P_{HPA} = 41.25 - 46.81 - (-0.5)$$

$$P_{HPA} = -5.06 \text{ dBW} = 0.31 \text{ Watts}$$

Atlanta

$$P_{HPA} = 38.64 - 49.31 - (-0.5)$$

$$P_{HPA} = -10.17 \text{ dBW} = 0.10 \text{ Watts}$$

C) Enlace Descendente

$$(C/N)_{DESC} = (C/No)_{DESC} - 10 \log (BW) \text{ [dB]}$$

C1) Relación portadora a densidad de ruido descendente

$$(C/No)_{DESC} = PIRE_{SAT} + (G/T)_{E/T} - L_s - L_A - \mu - k \text{ [dB-Hz]}$$

a) PIRE del satélite:

$$\text{PIRE}_{\text{SAT}} = -\text{DFS}_{\text{TX}} - \text{ATP} + \text{BOI} - \text{Lp}_{\text{ASC}} + \text{PIRE}_{\text{ET}} - \text{BOO} + \text{PIRE}_{\text{RX}} \text{ [dB/m]}$$

donde:

$$\text{DFS} = -97.9 \text{ [dBW/m}^2\text{]}$$

$$\text{ATP} = 20 \text{ [dB]}$$

$$\text{BOI} = 7.5 \text{ [dB]}$$

$$\text{PIRE}_{\text{ET}} = 38.64 \text{ [dB/W]}$$

$$\text{BOO} = 5.10 \text{ [dB]}$$

$$\text{PIRE}_{\text{RX}} = 47.40 \text{ [dB/W]}$$

$$\text{Lp}_{\text{ASC}} = 10 \log (4\pi D^2)$$

$$\text{Lp}_{\text{ASC}} = 10 \log (4\pi(36601.147 \times 10^3)^2)$$

$$\text{Lp}_{\text{ASC}} = 162.2620 \text{ [dB]}$$

Sustituyendo valores tenemos:

$$\text{PIRE}_{\text{ET}} = -(-97.9) - 20 + 7.5 - 162.262 + 38.64 - 5.1 + 47.40$$

$$\text{PIRE}_{\text{ET}} = 4.08 \text{ [dB/W]}$$

b) Pérdidas por espacio libre descendente:

$$D = 37571.5418 \text{ Km}$$

$$F = 11.95 \text{ Ghz}$$

$$C = 300\,000 \text{ Km/s}$$

$$L_s = 20 \log \left(\frac{4\pi DF}{C} \right)$$

$$L_s = 20 \log [4\pi(37571.78)(11.95 \times 10^9)/(300 \times 10^3)]$$

$$L_s = 205.4863 \text{ [dB]}$$

c) Figura de mérito de la antena ubicada en Atlanta (Rx)

$$(G/T)_{E/T} = G_{RX} - 10 \log(T_s - \Delta T) \text{ [dB} \cdot \text{°K]}$$

$$G_{RX} = 47.75 \text{ [dBi]}$$

$$T_s = T_{LNA} + T_{ANT} = 200 + 20.34 = 220.34 \text{ [°K]}$$

$$\Delta T = \left[1 - \log^{-1} \left(\frac{H_{DESC}}{10} \right) \right]$$

$$\Delta T = [1 - \log^{-1}(-2.20/10)](275)$$

$$\Delta T = 109.29 \text{ [dB} \cdot \text{°K]}$$

Sustituyendo valores:

$$(G/T)_{ET} = 47.75 - 10 \log (220.34 - 109.29)$$

$$(G/T)_{ET} = 27.295 \text{ [dB *K]}$$

$$(C/N_0)_{DESC} = 4.08 + 27.2951 - (-228.6) - 205.4863 - (-2.2) - 1.4$$

$$(C/N_0)_{DESC} = 55.3 \text{ [dB-Hz]}$$

C2) Relación portadora a ruido descendente $(C/N)_{DESC}$:

$$(C/N)_{DESC} = (C/N_0)_{DESC} - 10 \log (BW) \text{ [dB]}$$

$$(C/N)_{DESC} = 55.3 - 10 \log (72960)$$

$$(C/N)_{DESC} = 6.7 \text{ [dB]}$$

C3) Relación portadora a ruido descendente del sistema $(C/N)_{DESCSIST}$

$$(C/N)_{DESCSIST} = 10 \log \left[\frac{1}{\log^{-1} \frac{(C/N)_{DESC}}{10} + \log^{-1} \frac{(C/I)}{10} + \log^{-1} \frac{(C/X)_{SATY}}{10} + \log^{-1} \frac{(C/X)_{POLCRZ}}{10}} \right]$$

$$(C/N)_{DESCSIST} = 10 \log [1/\log^{-1}(6.7/10) + 1/\log^{-1}(16.54/10) + 1/\log^{-1}(23.04/10) + 1/\log^{-1}(22.34/10)]$$

$$(C/N)_{DESCSIST} = 6.076 \text{ [dB]}$$

D) Evaluación del enlace

D1) Relación de la portadora a densidad de ruido total del sistema $(C/N)_{TOTSIST}$

$$(C/N)_{TOTSIST} = 10 \log \left[\frac{1}{\frac{1}{\log^{-1} \frac{(C/N)_{ASC}}{10}} + \frac{1}{\log^{-1} \frac{(C/N)_{DESCSIST}}{10}}} \right]$$

$$(C/N)_{TOTSIST} = 10 \log [1 / (1 / \log^{-1} (15.87/10) + 1 / \log^{-1} (6.076/10))]$$

$$(C/N)_{TOTSIST} = 5.6383 \text{ [dB]}$$

D2) Factor de calidad del enlace FC:

$$FC = (C/N)_{TOTSIST} - (C/N)_{REQ} \text{ [dB]}$$

a) Relación portadora a ruido requerido $(C/N)_{REQ}$

$$(C/N)_{REQ} = (Eb/No) - 10 \log (BW) + 10 \log (Vel)$$

$$(C/N)_{REQ} = 5.42 - 48.63 + 48.06$$

$$(C/N)_{REQ} = 4.851 \text{ [dB]}$$

sustituyendo valores:

$$FC = 5.6383 - 4.851$$

$$FC = 0.7873 \text{ [dB]}$$

FC > 0 dB y el enlace es confiable.

D) Evaluación del enlace

D1) Relación de la portadora a densidad de ruido total del sistema $(C/N)_{TOTSIST}$

$$(C/N)_{TOTSIST} = 10 \log \left[\frac{1}{\frac{1}{\log^{-1} \frac{(C/N)_{ASC}}{10}} + \frac{1}{\log^{-1} \frac{(C/N)_{DESCSIST}}{10}}} \right]$$

$$(C/N)_{TOTSIST} = 10 \log [1 / (1 / \log^{-1} (15.87/10) + 1 / \log^{-1} (6.076/10))]$$

$$(C/N)_{TOTSIST} = 5.6383 \text{ [dB]}$$

D2) Factor de calidad del enlace **FC**:

$$FC = (C/N)_{TOTSIST} - (C/N)_{REQ} \text{ [dB]}$$

a) Relación portadora a ruido requerido $(C/N)_{REQ}$

$$(C/N)_{REQ} = (Eb/No) - 10 \log (BW) + 10 \log (Vel)$$

$$(C/N)_{REQ} = 5.42 - 48.63 + 48.06$$

$$(C/N)_{REQ} = 4.851 \text{ [dB]}$$

sustituyendo valores:

$$FC = 5.6383 - 4.851$$

$$FC = 0.7873 \text{ [dB]}$$

$FC > 0 \text{ dB}$ y el enlace es confiable.

Enlace GUADALAJARA-ATLANTA
B) Enlace Ascendente

$$(C/N)_{ASC} = (C/No)_{ASC} - \log(BW) \text{ [dB]}$$

B1) Ancho de banda

$$BW = V_{INF}(FEC)^{-1}(FM)(\text{Rolloff})$$

$$BW = (64,000)(0.5)^{-1}(0.5)(1.14)$$

$$BW = 72.96 \text{ [KHz]}$$

B2) Apuntamiento de la antena y distancia al satélite.**Guadalajara**

Angulo de azimut A:

$$A' = \text{tag}^{-1} [(\text{tag}(\text{longsat} - \text{long}_{E/T})) / \text{sen}(\text{lat}_{E/T})]$$

$$A' = \text{tag}^{-1} [(\text{tag}(109.2 - 103.38)) / \text{sen}(20.72)]$$

$$A' = 16.0715$$

debido a que la estación en Guadalajara se encuentra al oeste del satélite se ocupa la siguiente relación:

$$A = 180^\circ + A'$$

$$A = 180 + 16.0715$$

$$A = 196.0715^\circ$$

Angulo de elevación E:

$$E = \text{tag}^{-1} [(R - R_e(\omega)) / (R_e \text{sen}(\cos^{-1} \omega))] - (\cos^{-1} \omega)$$

$$\omega = \text{coslat}_{E/T}[\text{cos}(\text{lat}_{E/T} - \text{long}_{E/T})]$$

$$\omega = \cos 20.72 [\cos(109.2 - 103.38)]$$

$$\omega = 0.9305$$

R = 42164.2 Km (distancia promedio de la Tierra al satélite)

Re = 6378.155 Km (radio promedio de la Tierra)

$$E = \tan^{-1} [(42164.2 - (6378.155)(0.9305)) / 6378.155 \sin (\cos^{-1} (0.9305)) - (\cos^{-1} (0.9305))]$$

$$E = \tan^{-1} [36229.3268/2336.9643] - 21.4938$$

$$E = 64.82^\circ$$

Distancia entre la estación terrena y el satélite:

$$D = [R^2 + R_e^2 - [2R_e(R) \sin[E + \sin^{-1}[(R_e/R) \cos E]]]]^{1/2}$$

$$D = [42164.2^2 + 6378.155^2 - [2(6378.155)(42164.2) \sin[64.82 + \sin^{-1}(6378.155/42164.2) \cos 64.82]]]^{1/2}$$

$$D = 36304.7092 \text{ [Km]}$$

B3) Relación portadora a densidad de ruido ascendente (C/No)_{ASC}

$$(C/No)_{ASC} = PIRE_{ET} + (G/T)_{SAT} - L_s - L_A - \mu - k \text{ [dB-Hz]}$$

$$PIRE_{ET} = 46.34 \text{ [dBW]}$$

$$(G/T)_{SAT} = 5.6 \text{ [dBK]}$$

$$K = -228.6 \text{ [dBJ/K]}$$

$$\mu = -2.20$$

$$L_A = 1.4 \text{ [dB]}$$

Pérdidas en el espacio libre ascendente:

$$L_S = 20 \log \left(\frac{4\pi DF}{C} \right)$$

$$L_S = 206.7173 \text{ [dB]}$$

sustituyendo valores:

$$(C/No)_{ASC} = 46.34 + 5.6 - (-228.6) - 206.7173 - (-2.2) - 1.4$$

$$(C/No)_{ASC} = 74.6227 \text{ [dB-Hz]}$$

B4) Relación portadora a ruido ascendente $(C/N)_{ASC}$:

$$(C/N)_{ASC} = (C/No)_{ASC} - 10 \log BW \text{ [dB]}$$

$$(C/N)_{ASC} = 74.6227 - 10 \log [72960]$$

$$(C/N)_{ASC} = 26.0 \text{ [dB]}$$

B5) Relación portadora a ruido ascendente del sistema $(C/N)_{ASCIST}$

$$(C/N)_{ASCIST} = 10 \log \left[\frac{1}{\log^{-1} \left(\frac{(C/N)_{ASC}}{10} \right)} + \frac{1}{\log^{-1} \left(\frac{(C/I)_{INT}}{10} \right)} + \frac{1}{\log^{-1} \left(\frac{(C/X)_{SATDY}}{10} \right)} + \frac{1}{\log^{-1} \left(\frac{(C/X)_{POLCRZ}}{10} \right)} \right]$$

$$(C/I)_{INT} = 23.90 \text{ [dB]}$$

$$(C/X)_{POLCRZ} = 30.50 \text{ [dB]}$$

$$(C/X)_{SATDY} = 37.90 \text{ [dB]}$$

sustituyendo valores:

$$(C/N)_{ASCIST} = 10 \log [1/\log^{-1}(26.0/10) + 1/\log^{-1}(23.90/10) + 1/\log^{-1}(37.9/10) + 10 \log^{-1}(30.50/10)]$$

$$(C/N)_{ASCIST} = 21.20 \text{ [dB]}$$

B6) Cálculo de la potencia de salida del HPA de la estación terrena transmisora

$$P_{HPA} = PIRE_{E/T} - G_{TX} + L_{ALIM}$$

Guadalajara

$$P_{HPA} = 46.34 - 46.81 - (-0.5)$$

$$P_{HPA} = 0.03 \text{ dBW} = 1.01 \text{ Watts}$$

Atlanta

$$P_{HPA} = 42.45 - 49.31 - (-0.5)$$

$$P_{HPA} = -6.36 \text{ dBW} = 0.23 \text{ Watts}$$

C) Enlace Descendente

$$(C/N)_{DESC} = (C/No)_{DESC} - 10 \log (BW) \text{ [dB]}$$

C1) Relación portadora a densidad de ruido descendente

$$(C/No)_{DESC} = PIRE_{SAT} + (G/T)_{E/T} - L_s - LA - \mu - k \text{ [dB-Hz]}$$

a) PIRE del satélite:

$$PIRE_{SAT} = -DFS_{TX} - ATP + BOI - Lp_{ASC} + PIRE_{E/T} - BOO + PIRE_{RX} \text{ [dB/m]}$$

donde:

$$\begin{aligned} \text{DFS} &= -97.2 \text{ [dBW/m}^2\text{]} \\ \text{ATP} &= 20 \text{ [dB]} \\ \text{BOI} &= 7.5 \\ \text{PIRE}_{E/T} &= 42.45 \text{ [dB/W]} \\ \text{BOO} &= 5.10 \text{ [dB]} \\ \text{PIRE}_{RX} &= 47.40 \text{ [dB/W]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{PASC} &= 10 \log (4\pi D^2) \\ L_{PASC} &= 10 \log (4\pi(36304.7092 \times 10^3)^2) \\ L_{PASC} &= 162.1914 \text{ [dB]} \end{aligned}$$

Sustituyendo valores tenemos:

$$\begin{aligned} \text{PIRE}_{E/T} &= -(-97.2) - 20 + 7.5 - 162.1914 + 42.45 - 5.1 + 47.40 \\ \text{PIRE}_{E/T} &= 7.26 \text{ [dBW]} \end{aligned}$$

b) Pérdidas por espacio libre descendente:

$$L_s = 20 \log \left(\frac{4\pi DF}{C} \right)$$

$$D = 37571.5418 \text{ Km}$$

$$F = 11.95 \text{ Ghz}$$

$$C = 300\,000 \text{ Km/s}$$

$$\begin{aligned} L_s &= 20 \log [4\pi(37571.78)(11.95 \times 10^9)/(300 \times 10^3)] \\ L_s &= 205.4863 \text{ [dB]} \end{aligned}$$

c) Figura de mérito de la antena ubicada en Atlanta (Rx)

$$(G/T)_{E/T} = G_{RX} - 10 \log(T_s - \Delta T) \text{ [dB} \cdot \text{°K]}$$

donde:

$$\begin{aligned} \text{DFS} &= -97.2 \text{ [dBW/m}^2\text{]} \\ \text{ATP} &= 20 \text{ [dB]} \\ \text{BOI} &= 7.5 \\ \text{PIRE}_{E/T} &= 42.45 \text{ [dB/W]} \\ \text{BOO} &= 5.10 \text{ [dB]} \\ \text{PIRE}_{R/X} &= 47.40 \text{ [dB/W]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{PASC} &= 10 \log (4\pi D^2) \\ L_{PASC} &= 10 \log (4\pi(36304.7092 \times 10^3)^2) \\ L_{PASC} &= 162.1914 \text{ [dB]} \end{aligned}$$

Sustituyendo valores tenemos:

$$\begin{aligned} \text{PIRE}_{E/T} &= -(-97.2) - 20 + 7.5 - 162.1914 + 42.45 - 5.1 + 47.40 \\ \text{PIRE}_{E/T} &= 7.28 \text{ [dBW]} \end{aligned}$$

b) Pérdidas por espacio libre descendente:

$$L_S = 20 \log \left(\frac{4\pi DF}{C} \right)$$

$$D = 37571.5418 \text{ Km}$$

$$F = 11.95 \text{ Ghz}$$

$$C = 300 \text{ 000 Km/s}$$

$$\begin{aligned} L_S &= 20 \log [4\pi(37571.78)(11.95 \times 10^9)/(300 \times 10^3)] \\ L_S &= 205.4863 \text{ [dB]} \end{aligned}$$

c) Figura de mérito de la antena ubicada en Atlanta (Rx)

$$(G/T)_{E/T} = G_{R/X} - 10 \log (T_s \cdot \Delta T) \text{ [dB} \cdot \text{°K]}$$

$$G_{RX} = 47.75 \text{ [dBi]}$$

$$T_s = T_{LNA} + T_{ANT} = 200 + 20.34 = 220.34 \text{ [°K]}$$

$$\Delta T = \left[1 - \log^{-1} \left(\frac{\mu_{DESC}}{10} \right) \right] (275)$$

$$\Delta T = [1 - \log^{-1}(-2.20/10)](275)$$

$$\Delta T = 109.29 \text{ [dB K]}$$

Sustituyendo valores:

$$(G/T)_{ET} = 47.75 - 10 \log (220.34 - 109.29)$$

$$(G/T)_{ET} = 27.295 \text{ [dB K]}$$

$$(C/No)_{DESC} = 7.26 + 27.2951 - (-228.6) - 205.4863 - (-2.2) - 1.4$$

$$(C/No)_{DESC} = 58.47 \text{ [dB-Hz]}$$

C2) Relación portadora a ruido descendente $(C/N)_{DESC}$:

$$(C/N)_{DESC} = (C/No)_{DESC} - 10 \log (BW) \text{ [dB]}$$

$$(C/N)_{DESC} = 58.47 - 10 \log (72960)$$

$$(C/N)_{DESC} = 9.84 \text{ [dB]}$$

C3) Relación portadora a ruido descendente del sistema $(C/N)_{DESCSIST}$

$$(C/N)_{DESCSIST} = 10 \log \left[\frac{1}{\log^{-1} \frac{(C/N)_{DESC}}{10} + \log^{-1} \frac{(C/I)}{10} + \log^{-1} \frac{(C/X)_{SATY}}{10} + \log^{-1} \frac{(C/X)_{POLCRZ}}{10}} \right]$$

$$(C/N)_{DESCSIST} = 10 \log [1/\log^{-1}(9.84/10) + 1/\log^{-1}(21.0/10) + 1/\log^{-1}(27.50/10) + 1/\log^{-1}(26.8/10)]$$

$$G_{RX} = 47.75 \text{ [dBi]}$$

$$T_s = T_{LNA} + T_{ANT} = 200 + 20.34 = 220.34 \text{ [°K]}$$

$$\Delta T = \left[1 - \log^{-1} \left(\frac{\mu_{DESC}}{10} \right) \right] (275)$$

$$\Delta T = [1 - \log^{-1}(-2.20/10)](275)$$

$$\Delta T = 109.29 \text{ [dB K]}$$

Sustituyendo valores:

$$(G/T)_{ET} = 47.75 - 10 \log (220.34 - 109.29)$$

$$(G/T)_{ET} = 27.295 \text{ [dB K]}$$

$$(C/N)_{DESC} = 7.26 + 27.2951 - (-228.6) - 205.4863 - (-2.2) - 1.4$$

$$(C/N)_{DESC} = 58.47 \text{ [dB-Hz]}$$

C2) Relación portadora a ruido descendente $(C/N)_{DESC}$:

$$(C/N)_{DESC} = (C/N)_{DESC} - 10 \log (BW) \text{ [dB]}$$

$$(C/N)_{DESC} = 58.47 - 10 \log (72960)$$

$$(C/N)_{DESC} = 9.84 \text{ [dB]}$$

C3) Relación portadora a ruido descendente del sistema $(C/N)_{DESCSIST}$

$$(C/N)_{DESCSIST} = 10 \log \left[\frac{1}{\frac{1}{\log^{-1} \frac{(C/N)_{DESC}}{10}} + \frac{1}{\log^{-1} \frac{(C/I)}{10}} + \frac{1}{\log^{-1} \frac{(C/X)_{SATY}}{10}} + \frac{1}{\log^{-1} \frac{(C/X)_{POLCRZ}}{10}}} \right]$$

$$(C/N)_{DESCSIST} = 10 \log [1/\log^{-1}(9.84/10) + 1/\log^{-1}(21.0/10) + 1/\log^{-1}(27.50/10) + 1/\log^{-1}(26.8/10)]$$

$$(C/N)_{DESCSIST} = 10 \log (8.613)$$

$$(C/N)_{DESCSIST} = 9.3515 \text{ [dB]}$$

D) Evaluación del enlace

D1) Relación de la portadora a densidad de ruido total del sistema $(C/N)_{TOTSIST}$

$$(C/N)_{TOTSIST} = 10 \log \left[\frac{1}{\frac{1}{\log^{-1} \frac{(C/N)_{ASC}}{10}} + \frac{1}{\log^{-1} \frac{(C/N)_{DESCSIST}}{10}}} \right]$$

$$(C/N)_{TOTSIST} = 10 \log [1/(0.005 + 0.1161)]$$

$$(C/N)_{TOTSIST} = 9.08 \text{ [dB]}$$

D2) Factor de calidad del enlace FC:

$$FC = (C/N)_{TOTSIST} - (C/N)_{REQ} \text{ [dB]}$$

a) Relación portadora a ruido requerido $(C/N)_{REQ}$

$$(C/N)_{REQ} = (E_b/N_o) - 10 \log (BW) + 10 \log (Vel)$$

$$(C/N)_{REQ} = 5.43 - 48.63 + 48.06$$

$$(C/N)_{REQ} = 4.861 \text{ [dB]}$$

sustituyendo valores:

$$FC = 9.08 - 4.86$$

$$FC = 4.22 \text{ [dB]}$$

FC > 0 dB y el enlace es confiable.

RESUMEN DE CALCULOS

QPSK		E/T REMOTA	E/T MAESTRA
SATELITE SOLIDARIDAD	L.OESTE 109.20	MEXICO D.F.	ATLANTA
LATITUD NORTE	Rad/grad	0.34/19.35	0.58/33.45
LONGITUD OESTE	Rad/grad	1.73/99.01	1.47/84.24
ELEVACION	Rad/grad	1.13/64.49	0.75/42.78
AZIMUT	Rad/grad	3.64/208.48	3.84/220.18
BETA	Rad/grad	0.38/21.78	0.71/40.85
RANGO	Kms	36318.61	37571.5418
DIAMETRO DE ANTENA	m	1.80	2.40
PIRE saturación	dBW	50.50	47.40
D.F.S.	dBW/m ²	-100.80	-98.00
ATENUACION	dB	20.00	20.00
BACK OFF entrada	dB	7.50	8.50
BACK OFF salida	dB	5.10	4.00
GANANCIA LIN. DE SAT.	dBW/m	130.60	133.00
G/T (satélite)	dB/K	9.30	7.50
(C/Io) mínimo requerido	dB-Hz	55.31	63.19

ENLACE ASCENDENTE		MEXICO D.F.	ATLANTA
GANANCIA DE TRANSMISION	dB	46.81	49.31
FRECUENCIA DE TRANSMISION	GHz	14.25	14.25
PIRE E/T	dBW	41.15	40.73
PERDIDAS DE DISPERSION	dBm	-162.1945	-162.49
PERDIDAS DE ESPACIO LIBRE	dB	-206.7207	-207.06
PERDIDAS POR APUNTAMIENTO	dB	-0.40	-0.40
PERDIDAS POR POLARIZACION	dB	-0.50	-0.50
PERDIDAS POR LLUVIA	dB	-4.20	-2.50
DENSIDAD DE FLUJO req.	dBW/m ²	-121.05	-121.76
PERDIDAS DE ALIMENTACION	dB	-0.50	-0.50
POTENCIA DE HPA	dBW	-5.16	-8.08
POTENCIA DE HPA	Watts	0.30	0.16
C/No (ASCENDENTE)	dB-Hz	73.1293	66.37
C/N (ASCENDENTE)	dB	24.50	22.97
C/I POR INTERMOD.EN HPA	dB	22.30	18.79
C/X POR POL. CRUZADA	dB	28.90	25.39
C/X POR SATELITES ADYS.	dB	36.30	32.79
C/N ASCEND. DEL SIST.	dB	19.626	16.64

CONFIGURACION DE LA RED

ENLACE DESCENDENTE		ATLANTA	MEXICO D.F.
GANANCIA DE RECEPCION	dBi	47.75	45.28
FRECUENCIA DE RECEPCION	GHz	11.95	11.95
TEMPERATURA DE LNA	deg K	200.00	200.00
TEMPERATURA DE ANTENA	deg K	20.34	17.33
TEMPERATURA DE SISTEMA	deg K	220.34	217.33
TEMPERATURA DE LLUVIA	deg K	109.22	109.22
TEMP. DE SIST. C. LLUVIA	deg K	279.30	277.68
G/T DE RECEPCION	dB/degK	23.81	21.39
G/T DE RECEP. C. LLUVIA	dB/degK	23.29	20.85
PIRE. DE SATELITE req.	dBW	9.55	11.24
PERDIDAS DE ALIMENTACION	dB	-0.50	-0.50
PERDIDAS DE ESPACIO LIBRE	dB	205.4864	-205.26
PERDIDAS POR APUNTAMIENTO	dB	-0.40	-0.40
PERDIDAS POR POLARIZACION	dB	-0.50	-0.50
MARGEN DE LLUVIA	dB	-2.20	-2.20
POTENCIA requerida en RX	dBW	-197.33	-195.35
VELOCIDAD	Kbps	64.0	64.0
VELOCIDAD	dB-bps	48.06	48.06
POTENCIA DE HPA	Watts	1.01	0.23
C/T (DESCENDENTE)	dBW-K	-180.11	-177.83
C/No (DESCENDENTE)	dB-Hz	60.3442	49.89
C/N (DESCENDENTE)	dB	11.7134	6.49
C/I POR INTERMOD. EN HPA	dB	19.40	11.39
C/X POR POLAR. CRUZADA	dB	25.20	23.79
C/X POR SATEL. ADYS.	dB	25.90	25.12
C/N DESCENDENTE DEL SIST.	dB	6.8	5.17
C/N SISTEMA	dB	6.5581	4.87
C/N REQUERIDA	dB	4.86	4.83
E/No REQUERIDA	dB	5.40	5.40
E/No OPERACION	dB	5.42	5.44
E/No-E/No REQ.	dB	0.02	0.04

SUMARIO DE POTENCIAS REQUERIDAS POR EL SATELITE

ORIGEN/DESTINO	DIAMETRO	PIRE	PIRE SAT	%PIRE DEL SAT
MEXICO D.F.	1.8	41.25	9.55	0.05
ATLANTA	2.4	40.73	11.24	0.03

CONFIGURACION DE LA RED

QPSK		E/T REMOTA	E/T MAESTRA
SATELITE SOLIDARIDAD	L.OESTE 109.20	MONTERREY	ATLANTA
LATITUD NORTE	Rad/grad	0.45/25.68	0.58/33.45
LONGITUD OESTE	Rad/grad	1.75/100.3	1.47/84.24
ELEVACION	Rad/grad	1.02/58.37	0.75/42.78
AZIMUT	Rad/grad	3.49/199.87	3.84/220.18
BETA	Rad/grad	0.47/27.08	0.71/40.85
RANGO	Kms	36601.1470	37571.5418
DIAMETRO DE ANTENA	m	1.80	2.40
PIRE saturación	dBW	51.30	47.40
D.F.S.	dBW/m ²	-97.90	-98.00
ATENUACION	dB	20.00	20.00
BACK OFF entrada	dB	7.50	8.50
BACK OFF salida	dB	5.10	4.00
GANANCIA LIN. DE SAT.	dBW/m	127.70	133.00
G/T (satélite)	dB/K	6.40	7.50
(C/Io) mínimo requerido	dB-Hz	52.40	63.92

ENLACE ASCENDENTE		MONTERREY	ATLANTA
GANANCIA DE TRANSMISION	dB _i	46.81	49.31
FRECUENCIA DE TRANSMISION	GHz	14.25	14.25
PIRE E/T	dBW	41.25	38.64
PERDIDAS DE DISPERSION	dB _m	-162.2620	-162.49
PERDIDAS DE ESPACIO LIBRE	dB	-206.788	-207.06
PERDIDAS POR APUNTAMIENTO	dB	-0.40	-0.40
PERDIDAS POR POLARIZACION	dB	-0.50	-0.50
PERDIDAS POR LLUVIA	dB	-1.00	-2.50
DENSIDAD DE FLUJO req.	dBw/m ²	-121.05	-123.84
PERDIDAS DE ALIMENTACION	dB	-0.50	-0.50
POTENCIA DE HPA	dBW	-5.06	-10.16
POTENCIA DE HPA	Watts	0.31	0.10
C/No (ASCENDENTE)	dB-Hz	70.2620	64.29
C/N (ASCENDENTE)	dB	21.6311	20.89
C/I POR INTERMOD.EN HPA	dB	19.44	16.71
C/X POR POL. CRUZADA	dB	26.04	23.31
C/X POR SATELITES ADYS.	dB	33.44	30.71
C/N ASCEND. DEL SIST.	dB	15.87	14.56

CONFIGURACION DE LA RED

ENLACE DESCENDENTE		ATLANTA	MONTERREY
GANANCIA DE RECEPCION	dBi	47.75	45.28
FRECUENCIA DE RECEPCION	GHz	11.95	11.95
TEMPERATURA DE LNA	deg K	200.00	200.00
TEMPERATURA DE ANTENA	deg K	20.34	18.02
TEMPERATURA DE SISTEMA	deg K	220.34	218.02
TEMPERATURA DE LLUVIA	deg K	109.22	109.22
TEMP. DE SIST. C. LLUVIA	deg K	279.30	245.75
G/T DE RECEPCION	dB/degK	23.81	21.39
G/T DE RECEP. C. LLUVIA	dB/degK	23.29	21.38
PIRE. DE SATELITE req.	dBW	6.69	9.96
PERDIDAS DE ALIMENTACION	dB	-0.50	-0.50
PERDIDAS DE ESPACIO LIBRE	dB	205.4863	-205.26
PERDIDAS POR APUNTAMIENTO	dB	-0.40	-0.40
PERDIDAS POR POLARIZACION	dB	-0.50	-0.50
MARGEN DE LLUVIA	dB	-2.20	-3.90
POTENCIA requerida en RX	dBW	-200.19	-196.70
VELOCIDAD	Kbps	64.0	64.0
VELOCIDAD	dB-bps	48.06	48.06
POTENCIA DE HPA	Watts	1.01	0.23
C/T (DESCENDENTE)	dBW-K	-180.11	-177.83
C/No (DESCENDENTE)	dB-Hz	55.3	51.27
C/N (DESCENDENTE)	dB	6.7	7.87
C/I POR INTERMOD. EN HPA	dB	16.54	9.31
C/X POR POLAR. CRUZADA	dB	22.34	21.71
C/X POR SATEL. ADYS.	dB	23.04	23.83
C/N DESCENDENTE DEL SIST.	dB	6.076	5.35
C/N SISTEMA	dB	5.6383	4.86
C/N REQUERIDA	dB	4.851	4.83
E/No REQUERIDA	dB	5.40	5.40
E/No OPERACION	dB	5.42	5.43
E/No-E/No REQ.	dB	0.02	0.03

SUMARIO DE POTENCIAS REQUERIDAS POR EL SATELITE

ORIGEN/DESTINO	DIAMETRO	PIRE	PIRE SAT	%PIRE DEL SAT
MONTERREY	1.8	41.25	6.69	0.03
ATLANTA	2.4	38.64	9.96	0.02

CONFIGURACION DE LA RED

QPSK		E/T REMOTA	E/T MAESTRA
SATELITE SOLIDARIDAD L.OESTE 109.20		GUADALAJARA	ATLANTA
LATITUD NORTE	Rad/grad	0.36/20.72	0.58/33.45
LONGITUD OESTE	Rad/grad	1.80/103.38	1.47/84.24
ELEVACION	Rad/grad	1.13/64.82	0.75/42.78
AZIMUT	Rad/grad	3.42/196.07	3.84/220.18
BETA	Rad/grad	0.38/21.49	0.71/40.85
RANGO	Kms	36304.51	37571.5418
DIAMETRO DE ANTENA	m	1.80	2.40
PIRE saturación	dBW	50.50	47.40
D.F.S.	dBW/m ²	-97.20	-98.00
ATENUACION	dB	20.00	20.00
BACK OFF entrada	dB	7.50	8.50
BACK OFF salida	dB	5.10	4.00
GANANCIA LIN. DE SAT.	dBW/m	127.70	133.00
G/T (satélite)	dB/K	5.60	7.50
(C/Io) mínimo requerido	dB-Hz	58.65	61.42

ENLACE ASCENDENTE		GUADALAJARA	ATLANTA
GANANCIA DE TRANSMISION	dB _i	46.81	49.31
FRECUENCIA DE TRANSMISION	GHz	14.25	14.25
PIRE E/T	dBW	46.34	42.45
PERDIDAS DE DISPERSION	dB _m	-162.19	-162.49
PERDIDAS DE ESPACIO LIBRE	dB	-206.7173	-207.06
PERDIDAS POR APUNTAMIENTO	dB	-0.40	-0.40
PERDIDAS POR POLARIZACION	dB	-0.50	-0.50
PERDIDAS POR LLUVIA	dB	-5.90	-2.50
DENSIDAD DE FLUJO req.	dBw/m ²	-115.85	-120.04
PERDIDAS DE ALIMENTACION	dB	-0.50	-0.50
POTENCIA DE HPA	dBW	0.03	-6.36
POTENCIA DE HPA	Watts	1.01	0.23
C/No (ASCENDENTE)	dB-Hz	74.6227	68.09
C/N (ASCENDENTE)	dB	26.0	24.69
C/I POR INTERMOD. EN HPA	dB	23.90	20.51
C/X POR POL. CRUZADA	dB	30.50	27.11
C/X POR SATELITES ADYS.	dB	37.90	34.51
C/N ASCEND. DEL SIST.	dB	21.20	18.36

CONFIGURACION DE LA RED

ENLACE DESCENDENTE		ATLANTA	GUADALAJARA
GANANCIA DE RECEPCION	dBi	47.75	45.28
FRECUENCIA DE RECEPCION	GHz	11.95	11.95
TEMPERATURA DE LNA	deg K	200.00	200.00
TEMPERATURA DE ANTENA	deg K	20.34	17.29
TEMPERATURA DE SISTEMA	deg K	220.34	217.29
TEMPERATURA DE LLUVIA	deg K	109.22	165.85
TEMP. DE SIST. C. LLUVIA	deg K	279.30	391.98
G/T DE RECEPCION	dB/degK	23.81	21.39
G/T DE RECEP. C. LLUVIA	dB/degK	23.29	20.20
PIRE. DE SATELITE req.	dBW	11.15	12.96
PERDIDAS DE ALIMENTACION	dB	-0.50	-0.50
PERDIDAS DE ESPACIO LIBRE	dB	205.4863	-205.19
PERDIDAS POR APUNTAMIENTO	dB	-0.40	-0.40
PERDIDAS POR POLARIZACION	dB	-0.50	-0.50
MARGEN DE LLUVIA	dB	-2.20	-3.90
POTENCIA requerida en RX	dBW	-195.73	-193.63
VELOCIDAD	Kbps	64.0	64.0
VELOCIDAD	dB-bps	48.06	48.06
POTENCIA DE HPA	Watts	1.01	0.23
C/T (DESCENDENTE)	dBW-K	-180.55	-179.83
C/No (DESCENDENTE)	dB-Hz	58.47	49.27
C/N (DESCENDENTE)	dB	9.84	5.87
C/I POR INTERMOD. EN HPA	dB	21.00	13.11
C/X POR POLAR. CRUZADA	dB	26.80	25.51
C/X POR SATEL. ADYS.	dB	27.50	26.84
C/N DESCENDENTE DEL SIST.	dB	9.3515	18.36
C/N SISTEMA	dB	9.08	4.85
C/N REQUERIDA	dB	4.861	4.83
E/No REQUERIDA	dB	5.40	5.40
E/No OPERACION	dB	5.43	5.42
E/No-E/No REQ.	dB	0.03	0.02

SUMARIO DE POTENCIAS REQUERIDAS POR EL SATELITE

ORIGEN/DESTINO	DIAMETRO	PIRE	PIRE SAT	%PIRE DEL SAT
GUADALAJARA	1.8	46.34	11.15	0.08
ATLANTA	2.4	42.45	12.96	0.04

CAPITULO 5

TIPOS DE ACCESO A LA RED



5. TIPOS DE ACCESO A LA RED

Dentro de los tipos de acceso a la red, se dispondrá de dos tipos:

- Acceso al Satélite
- Acceso Terrestre

Dado que las comunicaciones hacia el satélite pueden ser punto a punto, punto a multipunto o multipunto a multipunto, según la necesidad específica del servicio; se deberán establecer los mecanismos para optimizar su utilización, a fin de evitar que se traslape la información que envían las estaciones terrenas hacia el satélite. Para lograr lo anterior, se debe adoptar el mejor tipo de acceso, que sea compatible con la red.

En lo referente al acceso terrestre o enlace de última milla, el cual se refiere a la conexión que se tiene entre la estación terrena y algún punto donde se requiere concentrar la información de los sitios remotos (en nuestro caso, el acceso de las agencias de viajes hacia la red), puede llevarse a cabo a través de varios medios de transmisión:

- Canales Telefónicos
- Enlaces de Fibra Optica
- Radio - Enlaces

Como se puede apreciar en la figura 5.1

Para obtener un buen aprovechamiento del medio de transmisión seleccionado, se debe tener presente la capacidad que puede manejar este; entendiéndose como capacidad el volumen de tráfico que puede soportar el medio de transmisión. Los

factores que pueden afectar esta incluyen el tipo y la calidad del sistema de transmisión empleado, la presencia de "ruido" y la velocidad de transmisión que pretenda soportar la red .

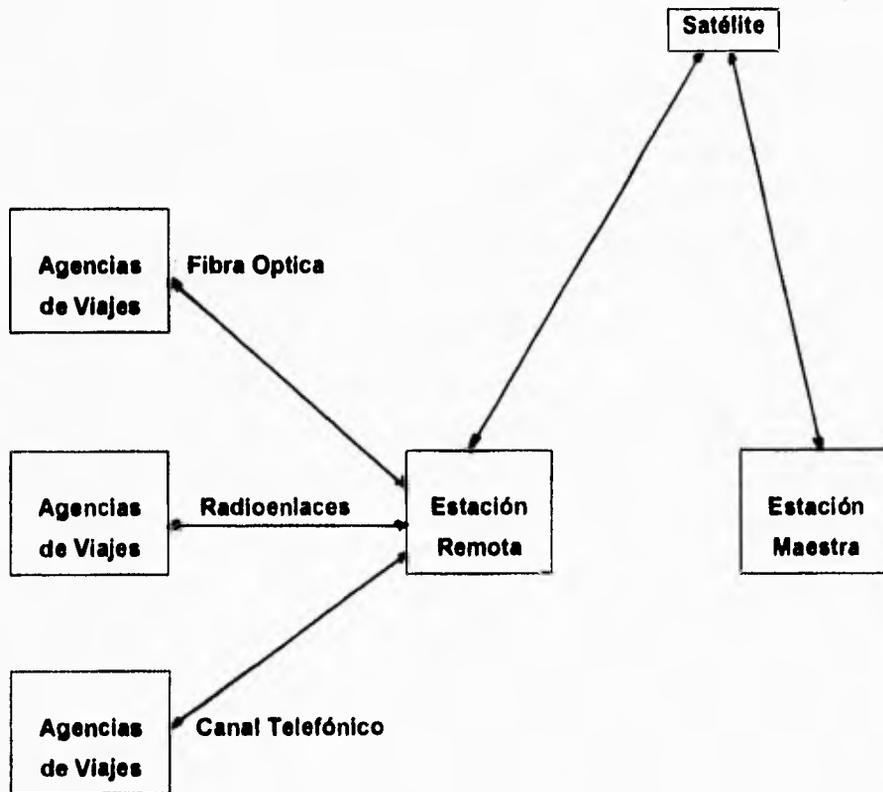


FIGURA 5.1 Tipos de Enlace de Última Milla

5.1.1 Canal Telefónico

Los enlaces telefónicos tienen una capacidad limitada de transferencia de información, limitada por su ancho de banda y por el ruido existente en los mismos. De acuerdo con la teoría de Shannon:

$$C = W \log_2 (1+S/R)$$

Donde:

C: Capacidad de Transferencia

W: Ancho de Banda

S/R: Relación Señal/Ruido

En la práctica, el canal telefónico permite una velocidad del orden de 30,000 bits/segundo con una relación S/R del orden de 30 dB. La velocidad de transferencia de un canal se suele expresar en "Baudios" o "bits/segundo".

Cuando la red de abonado es analógica cada línea contiene un circuito y la comunicación a la central se hace utilizando cable de cobre (cuya respuesta a la velocidad es típicamente de hasta 9.6 Kbps cuando se utilizan modems para transmisión de datos). En el caso de la transmisión digital, la información de 30 canales se digitaliza a 64 Kbps por canal, y se introduce en una trama con dos canales adicionales para sincronía y señalización, dando una velocidad de 2 Mbps (conocido como E1) que al llegar a la central telefónica es nuevamente separada por canal, para direccionar estos al punto seleccionado.

Las líneas telefónicas analógicas presentan un ancho de banda comprendido entre los 300 y 3400 Hertz (frecuencias vocales), como se muestra en la figura 5.2, con una impedancia de entrada de 600 ohms, y presentan una serie de características, muy

diversas, y debidas no solamente a su propia naturaleza, sino al entorno en el que se encuentran instaladas, que se pueden concretar en las siguientes:

- Pérdida de inserción o atenuación
- Distorsión de atenuación
- Distorsión de retardo de grupo
- Ruido sofométrico
- Ruido impulsivo
- Ruido de cuantificación
- Desviación de frecuencia
- Fluctuación de fase
- Efecto de eco

Atenuación:

Es molesta en el caso de variar con la frecuencia, ya que se produce una deformación de la señal.

Retardo de Grupo:

No todas las frecuencias se propagan con igual velocidad, y puesto que cualquier señal puede considerarse compuesta por multitud de ellas, se producirá un retardo que puede dar lugar a distorsión, especialmente significativa en el caso de utilizar altas velocidades.

Ruido:

Podemos considerar tres tipos de ruido, sofométrico, de cuantificación e impulsivo; los dos primeros se reparten uniformemente a lo largo de la banda y contribuyen a limitar

la velocidad máxima de transmisión, el tercero, son picos de muy corta duración y elevado nivel, que pueden perturbar la señal dando lugar a errores.

Fluctuaciones de Fase:

Son variaciones lentas y casi permanentes de la fase de la señal que no afectan a la voz pero sí a los datos. El efecto es similar al producido por las desviaciones de frecuencia.

Eco:

Consiste en una señal de las mismas características que la original, pero retardada y atenuada respecto a la misma. Se produce debido al desequilibrio de las bobinas híbridas utilizadas en las centrales telefónicas, para la conversión de dos a cuatro hilos, así como por el desequilibrio existente en cualquier punto de la red, que dá lugar a reflexiones de la señal transmitida.

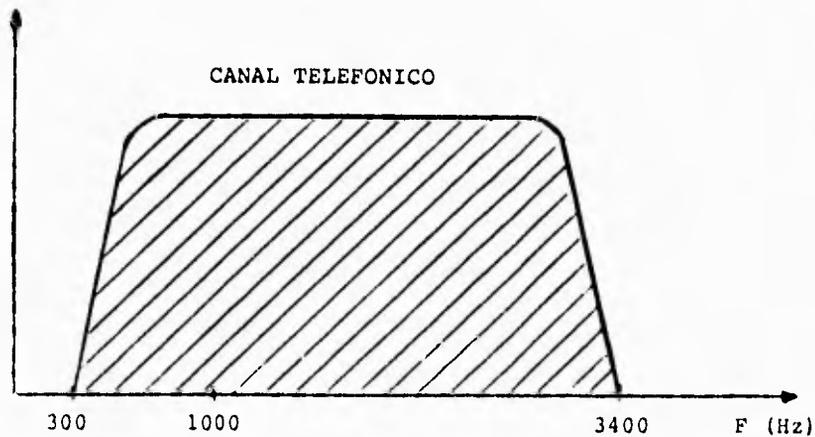


FIGURA 5.2 Ancho de Banda del Canal Telefónico

5.1.2 Fibra Óptica

Los enlaces de fibra óptica presentan grandes ventajas entre las cuales podemos mencionar: su gran ancho de banda (típicamente 500 MHz), frecuencias elevadas, gran fiabilidad, inmunidad frente al ruido electromagnético, poco volumen y peso, etc. siendo adecuados para transmisiones de tipo digital.

En los enlaces de fibra óptica, se deben considerar varios parámetros básicos como lo son: el índice de refracción (n), la reflexión, la dispersión y la atenuación entre otros.

La velocidad de la luz en el vacío, C_0 , es de aproximadamente 3×10^8 m/s. En los medios sólidos o líquidos la velocidad, v , es algo más baja y el cociente nos da el índice de refracción del material. (como se puede apreciar en la figura 5.3). En consecuencia, el valor de n para el vacío es de 1 y de 1.5 para algunos sólidos y líquidos comunes. El índice de refracción en algunos materiales es constante con una leve dependencia de la temperatura, la longitud de onda y la presión.

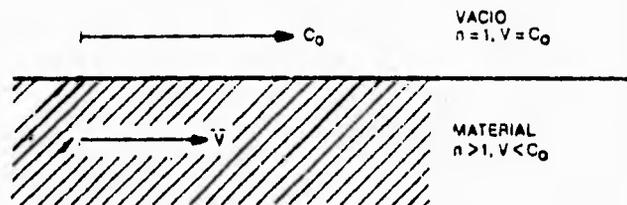


FIGURA 5.3 Velocidad de Propagación

La dispersión limita el ancho de banda de la fibra, provoca distorsión por retraso de grupo y consiste de la dispersión del material y de la dispersión modal.

Dentro de los métodos para transmitir una señal luminosa a través de la fibra óptica tenemos: (figura 5.4)

- Multimodo (de índice escalonado y gradual)
- Monomodo

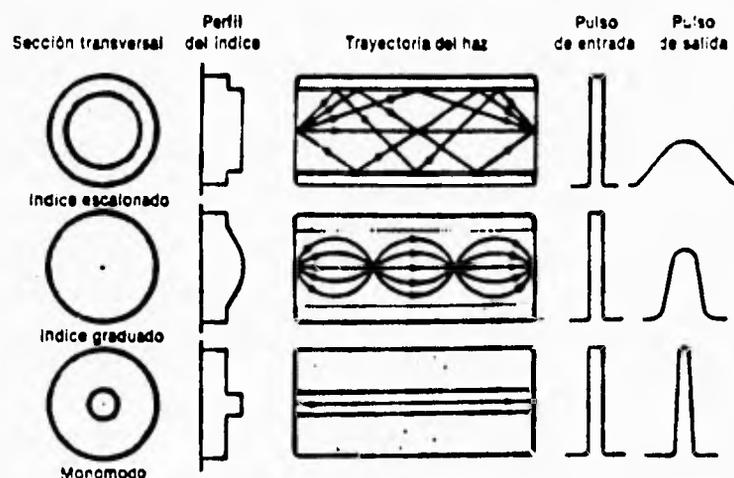


FIGURA 5.4 Tipos de Fibras

Para que se transmita en modo multimodo, se precisa que el diámetro del núcleo sea muy superior a la longitud de onda de la señal luminosa a transmitir. Esta que entra por un extremo de la fibra con diferentes ángulos, se ve refractada innumerables veces en su camino hacia el otro extremo, llegando por lo tanto, con diferente fase.

En la fibra monomodo, el diámetro del núcleo es tan pequeño que solo existe un modo de propagación. La fibra como un medio de transmisión, se caracteriza entre otras cosas por:

- Apertura numérica, NA ($0 \leq NA \leq 1$)
- Atenuación, A (dB/km)
- Dispersión, Ψ (ns/km)

La atenuación nos dice cómo se atenúa la luz a lo largo de la fibra y se mide normalmente en dB/Km, para una cierta longitud de onda. Los factores que producen la atenuación en la fibra óptica se dividen en intrínsecos y extrínsecos

	Absorción del Material (Banda del Infrarrojo y ultravioleta, del radical OH (Hidróxido, humedad), defectos)
Intrínsecos	Esparcimiento del Material (Dispersión de Raleigh, Falla de homogeneidad, imperfecciones, irregularidades en el diámetro del núcleo, curvaturas abruptas)
	Esparcimiento de la guía de ondas (defectos geométricos y de perfil de índice de refracción)
Extrínsecos	Deformación mecánica (curvaturas y microcurvaturas) Radiación nuclear

Cuando se excede el rango máximo de temperatura permitido, pueden ocurrir cambios irreversibles en las propiedades de la transmisión de la fibra, como se puede apreciar en la figura 5.5. La atenuación en dB/km, puede incrementarse en diversas magnitudes de 0°C a 40°C, si el cable de fibra no ha sido construido en forma adecuada.

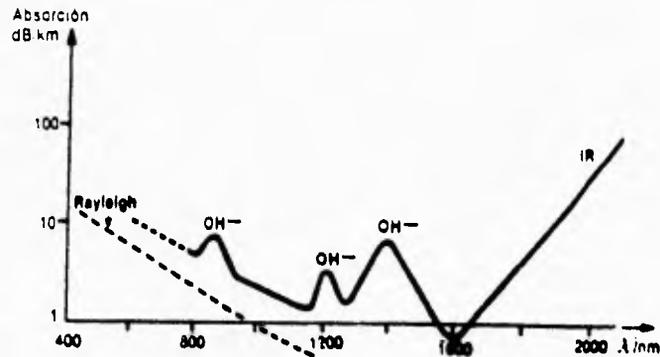


FIGURA 5.5 Dependencia de la atenuación con la temperatura

Los diferentes ángulos de entrada dan lugar a los distintos modos:

- Multimodo de enlace escalonado

En este, la superficie de separación entre el núcleo y el revestimiento está bien definida y diferenciada, dando lugar a que los rayos luminosos se reflejen hacia el núcleo formando diversos ángulos y originando, por tanto, diferentes caminos para la señal.

- Multimodo de índice gradual. En éste, se varía gradualmente el índice de refracción, tanto del núcleo como del revestimiento, de forma tal que es máxima en el interior del núcleo y por tanto mínima la velocidad. Los rayos luminosos que viajan por la periferia se propagan a mayor velocidad.
- Monomodo si el diámetro de la fibra es similar a la longitud de onda, solo un rayo o modo puede viajar a través de ella. Esta solución proporciona un gran ancho de banda (2 GHz/km) pero por contra se encuentra sujeto a una gran atenuación.

Si hay una gran demanda de la capacidad de transmisión, se usa uno de los siguientes métodos de multiplexación (figura 5.6). En comunicación por fibra óptica el método de la multiplexación por división del espacio es el más usual. La mayoría de los cables ópticos contiene 6 o más fibras. La modulación puede ser analógica o digital

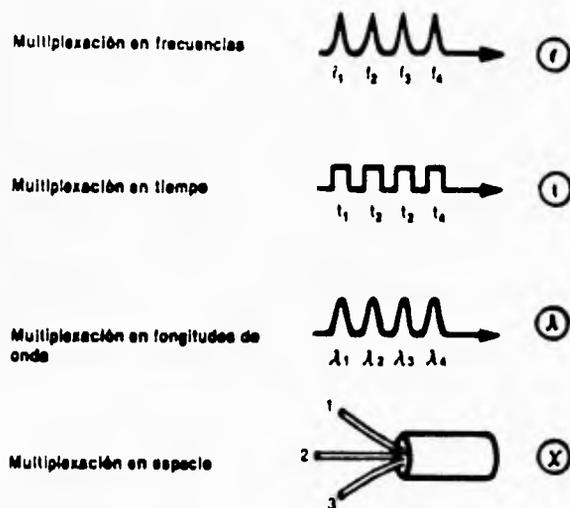


FIGURA 5.6 Métodos de Multiplexación

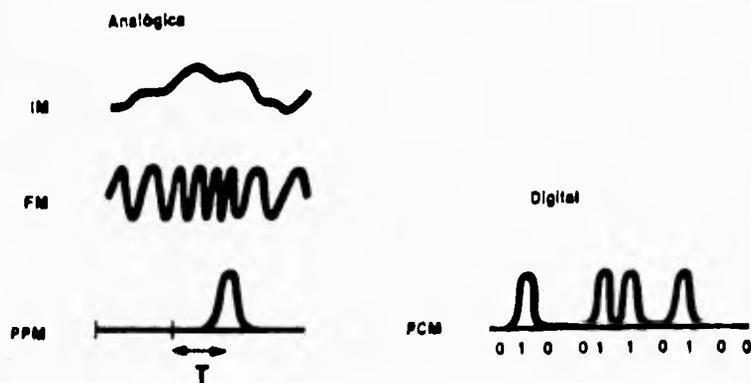


FIGURA 5.7 Métodos de Modulación

Atenuación de la Transmisión

La atenuación de la transmisión es la atenuación total (en dB) entre dos interfaces dadas (fig 5.8)

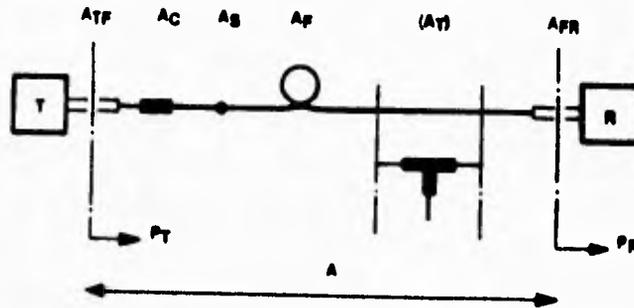


FIGURA 5.8 Atenuación de la Transmisión

$$A = A_{TF} + n_1 A_C + n_2 A_S + l A_F + n_3 A_T + A_{FR} \quad (\text{dB})$$

$$A = P_T - P_R \quad (\text{dB})$$

donde:

- A_{TF} Pérdidas de inserción del transmisor a la fibra
- A_C Atenuación en el conector
- A_S Atenuación en el empalme
- A_F Atenuación en la fibra
- A_T Atenuación en la derivación
- A_{FR} Pérdidas de Inserción del receptor a la fibra

- P_T Potencia de salida del transmisor (en la interface)
- P_R Potencia de entrada del receptor (en la interface)
- l Longitud de la fibra
- n Número de conectores, empalmes, derivaciones

Margen del Sistema

El margen del sistema es el número de dB disponible por arriba del más bajo nivel necesario para el receptor. Un margen del sistema de aproximadamente 5 dB se considera suficiente para cubrir los incrementos en la atenuación producidos por variaciones de temperatura, envejecimiento, reparaciones del cable, etc.

Un método sistemático para diseñar un enlace óptico con respecto a la atenuación, se puede resumir de la siguiente manera.

- Defina las interfaces ópticas del transmisor/receptor
- Determine el nivel de salida óptica del transmisor en su interface, a través de mediciones o de los datos del fabricante (P_T)
- Determine el límite de sensibilidad óptica en su interface para obtener las propiedades deseadas de la señal en la interface eléctrica del receptor. (P_{Rmin})
- Calcule o mida la atenuación total de la transmisión entre las dos interfaces ópticas. (A)
- Calcule el margen del sistema
 $M = (P_T - P_{Rmin}) - A$ (M)

El margen del sistema deberá cubrir

- Degradación de transmisor-receptor por cambios de temperatura reemplaza a 3 dB
- posibles reparaciones de cables
- desgaste de los conectores
- cambios de temperatura

Las pérdidas por inserción entre transmisor y fibra (ATF) dependen de la fuente de luz y de los parámetros de la fibra. La pérdida de inserción entre fibra y receptor es generalmente despreciable desde que la superficie del detector es mucho más grande que la superficie de la fibra, entendiéndose que toda la potencia luminosa será detectada.

Las pérdidas de conexión en empalmes y conectores entre fibras depende de los parámetros de la fibra tales como:

- apertura numérica
- diámetro del núcleo
- índice de refracción

La sensibilidad límite de entrada del receptor óptico está determinada por el ancho de banda y la elección de los componentes. En modulación digital la sensibilidad límite está determinada por la frecuencia de los bits y por la elección de los componentes.

Ancho de Banda

Con el propósito de alcanzar una baja distorsión de la señal (analógica o digital) transmitida por el enlace, éste debe tener un ancho de banda suficiente

El tiempo total de elevación (T) se calcula sacando la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los tiempos de crecimiento del transmisor, receptor y fibra.

El tiempo de elevación en las fibras está determinado por dos componentes: dispersión del material y modal. La dispersión del material es una constante y normalmente es despreciable (excepción: enlaces de banda ancha con transmisores LED). La dispersión modal puede ser un factor limitante en enlaces con fibras con índice escalonado, pero generalmente no lo es en enlaces con fibras con índice graduado.

La dispersión modal varía linealmente con la longitud hasta una llamada "longitud de acoplamiento" ($L_c \approx 0.5 - 1.0 \text{ Km}$) y luego como raíz de L

La dispersión total se calcula sacando la raíz cuadrada a la suma de los cuadrados de las dispersiones del material y la elevación modal.

Cálculo de un enlace de fibra óptica

El presupuesto de potencia es la base del diseño de un enlace de fibra óptica teniéndose:

$$\text{Ganancia total} - \text{Pérdida total} \geq 0$$

$$(P_t - P_r) - (\alpha_f + \alpha_c + \alpha_s + F_m) L \geq 0$$

$$L = (P_t - P_r) / (\alpha_f + \alpha_c + \alpha_s + F_m)$$

donde:

P_t :	Potencia del Transmisor
P_r :	Sensibilidad del receptor (nivel mínimo de potencia)
α_f :	Atenuación de la fibra
α_c :	Atenuación en el conector
α_s :	Pérdida total por empalmes
F_m :	Margen de la fibra
L :	Distancia entre repetidores

La longitud total del enlace, la razón de bit (bit rate) y el rendimiento por error (error performance), son los tres parámetros que determinan el diseño del enlace. La longitud total puede variar desde unos cuantos metros en una LAN hasta cientos de kilómetros en una WAN.

El requerimiento de razón de bit es establecido por el número de canales de voz, datos y video propuestos para el enlace.

En la figura 5.9 se ilustra el proceso de decisión en la elección de componentes para un enlace de fibra óptica.

El punto de inicio establece la capacidad (cuantos canales son necesarios entre el punto A y el punto B), éste automáticamente define la razón de bit, la cual tiene que ver con la fuente de luz, si es un LED (Diodo Emisor de Luz) o un LD (Diodo Láser) y por lo tanto, si el receptor es un dispositivo APD (Foto Diodo de Avalancha) o PIN.

El siguiente paso es determinar si el enlace es un sistema de comunicación corto, mediano o largo, la respuesta a esta cuestión determina el tipo de fibra a utilizar.

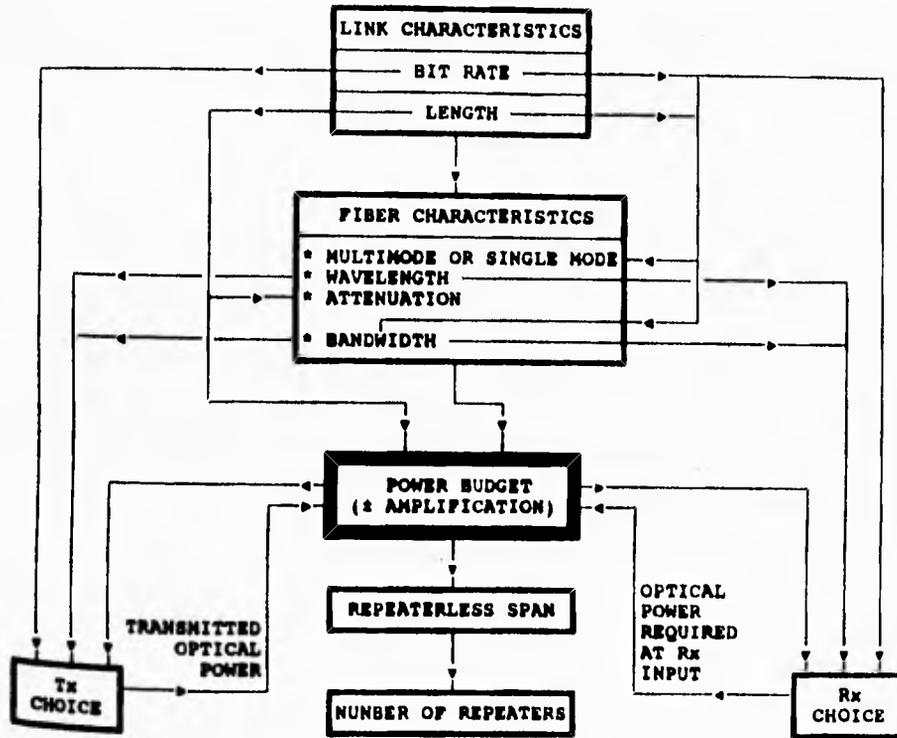


FIGURA 5.9 Proceso de decisión para el diseño de un enlace de fibra óptica

A continuación se presenta un ejemplo del cálculo del enlace de fibra óptica:

La tarea básica del enlace es conducir suficiente potencia del transmisor al receptor. El presupuesto es la diferencia entre la potencia transmitida y la sensibilidad del receptor. Si consideramos la potencia transmitida de -10 dB y la sensibilidad del receptor de -30 dB tenemos que el presupuesto de potencia es:

$$P_p = P_t - P_r$$

$$P_p = -10 - (-30) = 20 \text{ dB}$$

Esto indica que el enlace no puede tolerar más de 20 dB, la potencia restante es el margen del enlace. Si consideramos que la longitud del enlace es de 2 Km, la atenuación en la fibra de -3 dB, la atenuación en el conector de -0.5 dB y una pérdida total por empalmes de -0.5 dB podemos calcular el margen de la fibra:

$$L = (P_t - P_r) / (\alpha_f + \alpha_c + \alpha_s + F_m)$$

$$F_m = (P_t - P_r) / L - (\alpha_f + \alpha_c + \alpha_s)$$

sustituyendo valores:

$$F_m = [(-10 - (-30)) / 2] - [(-3) + (-0.5) + (-0.5)]$$

$$F_m = 6 \text{ dB}$$

5.1.3 Radio - Enlaces

Los sistemas de radioenlace o microondas en línea de vista, se forman de dos estaciones, una emisora y otra receptora, que han de tener un enlace visual o línea de vista y utilizan antenas parabólicas de dimensiones adecuadas, según la longitud de onda de la señal a transmitir y de los márgenes de potencia disponibles. Cuando las distancias son muy grandes (más de 10 Km), se suele emplear puntos de repetición.

En los sistemas de línea de vista las bandas de operación que se manejan son: 150 Mhz, 450 Mhz y 900 Mhz. En este tipo de sistemas, las ondas de radio viajan en línea recta y se limitan en el horizonte a causa de la curvatura de la Tierra (fig. 5.10). El horizonte óptico es el que limita la visión más allá de cierto punto; y se puede determinar como:

$$d = (3h / 2)^{1/2}$$

donde: d : distancia desde la antena hasta el horizonte óptico
h: altura de la antena sobre la superficie de la Tierra.

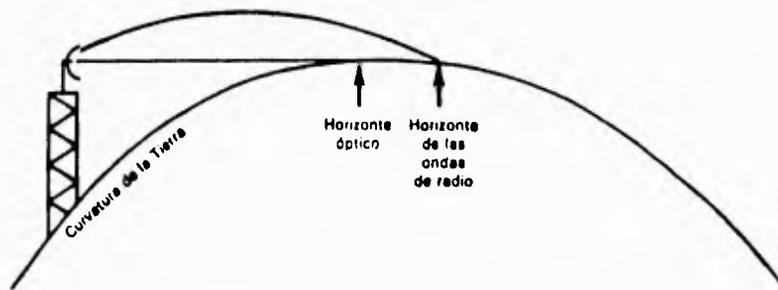


FIGURA 5.10 Horizonte Óptico y de Radio

Para lograr un buen diseño de un radioenlace, es necesario cubrir con una serie de etapas.

- Perfil de Trayectoria
- Cálculo de la Trayectoria
- Pérdida de la Trayectoria
- Ganancia de la Antena Parabólica

Perfil de Trayectoria

- a) En esta etapa, se dibujan a escala los sitios a enlazar, incluyendo todos los obstáculos que se encuentren a lo largo de la trayectoria que una a los sitios.
- b) Se traza una línea recta entre los puntos en cuestión y, posteriormente se translada a papel lineal para graficas en escala de 1cm por 1 o 2 Km sobre el eje horizontal; la escala vertical depende de la razón de cambio de la elevación a lo largo de la trayectoria
- c) El siguiente paso es establecer un punto directamente arriba con la altura sobre el nivel del mar y dar varios márgenes de libramiento adicionales.
- d) A la altura de cada obstáculo se deben añadir tres factores de incremento
 - Crecimiento de la vegetación
 - Irregularidad de la Tierra y
 - Margen de la zona de Fresnel.

Crecimiento de la Vegetación

En el caso de sitios donde se tenga vegetación, se adicionará un margen de 3 metros para considerar el crecimiento de la vegetación.

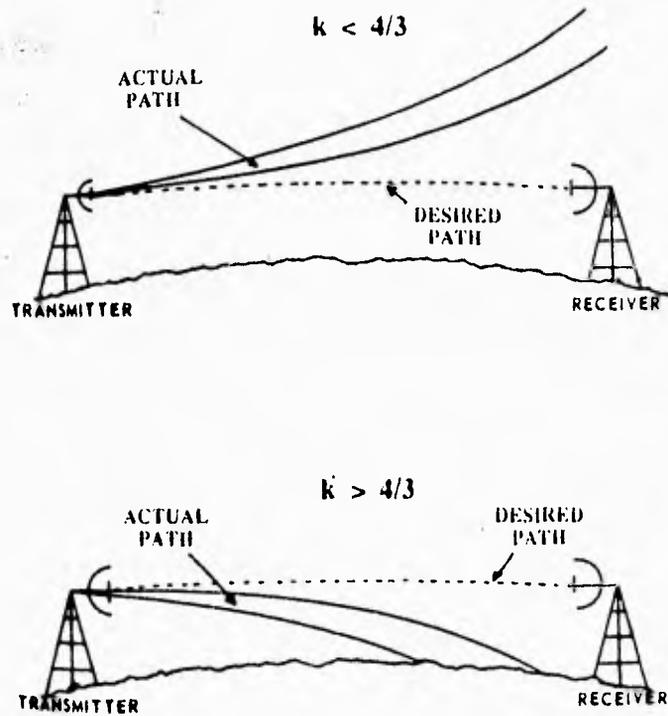


FIGURA 5.11 Factor k

Irregularidad de la Tierra

La irregularidad de la Tierra en cualquier punto de la trayectoria se calcula como:

$$h = 0.078 d_1 d_2 \dots \dots \dots (1)$$

donde:

- d_1 : Distancia desde el punto cercano del salto hasta el obstáculo de que se trata
- d_2 : Distancia desde el punto lejano del salto hasta el obstáculo.

La ecuación 1 se emplea para un haz en línea recta; sin embargo, la refracción atmosférica provoca que se desvíe acercándose o alejándose de la Tierra. Por lo cual se emplea el factor k :

$$k = \text{Radio efectivo de la Tierra} / \text{Radio real de la Tierra}$$

Por lo que se tiene

$$h = (0.078d_1d_2) / k \quad (\text{donde } d_1 \text{ y } d_2 \text{ se expresan en Km}) \dots\dots\dots (2)$$

Si el factor de k es mayor a 1, el haz se desvía hacia la Tierra, y el horizonte de radio es mayor que el horizonte óptico, y si k es menor a 1, el horizonte de radio es menor que el horizonte óptico. Para fines de la planeación general del sistema, se debe usar $k = 4/3$.

Zonas de Fresnel

El margen para la zona de Fresnel, proviene de la teoría de ondas electromagnéticas, según la cual el frente de onda, tiene propiedades de expansión conforme se propaga en el espacio. Para calcular el radio de la primer zona de Fresnel se emplea la siguiente ecuación:

$$R = 17.3 (d_1d_2 / FD)^{1/2} \quad (m)$$

donde:

- F: Frecuencia en GHz
- d_1 : Distancia desde la antena de transmisión hasta el obstáculo (Km)
- d_2 : Distancia desde el obstáculo en la trayectoria hasta la antena de recepción (Km)
- D = $d_1 + d_2$

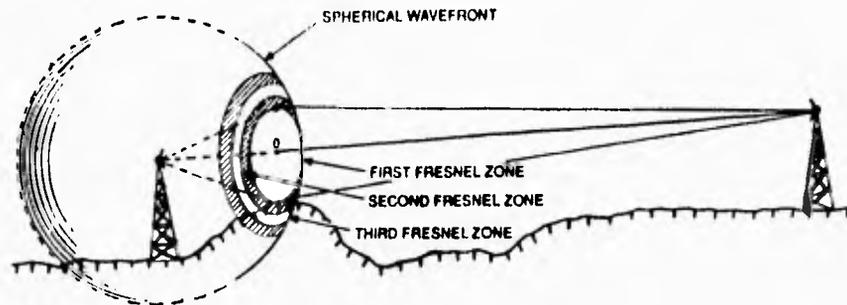


FIGURA 5.12 Zonas de Fresnel

Cálculo de la Trayectoria

Una vez elegida la banda de frecuencias y finalizado el perfil de la trayectoria, se debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

1. Pérdida de la trayectoria
2. Ancho de banda de operación y desviación pico
3. Umbral de recepción

A partir de los cuales se puede determinar el diámetro de las antenas parabólicas.

Pérdida de la trayectoria

Arriba de los 10 Ghz se puede considerar como "pérdida en el espacio libre", la cual se calcula como :

$$P_{dB} = 92.4 + 20 \log F_{GHz} + 20 \log D_{Km}$$

Umbral de recepción

El objetivo del umbral de recepción es calcular el nivel de ruido térmico en el receptor que se usa en el extremo distante de la trayectoria. El nivel de ruido térmico en el receptor se puede calcular a partir de la siguiente fórmula, en la que se usa la constante de Boltzman:

$$R_{dBW} = 10 \log [(k) (T) (AB)]$$

donde:

T: Temperatura a la que se produce el ruido en el receptor (°Kelvin)

AB: Ancho de Banda del ruido (Hz)

k: Constante de Boltzman ($1.3803 \times 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K}$)

Conviertiendo la constante de Boltzman a dBW y considerando que el receptor funciona a la temperatura ambiente tenemos finalmente que:

$$R_{dBW} = -204 \text{ dBW} + CR_{dBW} + 10 \log A_n$$

donde:

CR: Cantidad de ruido = Relación señal a ruido de entrada / relación señal a ruido de salida

$A_n = 2(\text{desviación máxima en FM}) + 2(\text{la frecuencia de modulación más alta})$

Ganancia de la Antena Parabólica

A una frecuencia dada, la ganancia de una antena parabólica está en función de su área efectiva y puede expresarse como:

$$G = 10 \log (4\pi A\eta / \lambda^2)$$

donde:

G: Ganancia de la antena isotrópica en dB

A: Area de apertura de la antena

λ : Longitud de onda de la frecuencia de operación

η : Eficiencia de la apertura

Las antenas parabólicas de que se dispone comercialmente se alimentan de manera convencional, por medio de una antena de cono en su foco y, generalmente, tienen una eficiencia del 55% o más; con tal eficiencia la ganancia se obtiene como:

$$G = 20 \log D + 20 \log F + 17.8 \text{ (dB)}$$

donde D está en metros y F en gigahertz.

Para ejemplificar lo anterior, consideraremos un radioenlace en el cual se emplee un radio-modem, con una frecuencia de operación en la transmisión de 550 MHz y 560 MHz en la recepción; una ganancia de 42 dB para la antena de transmisión y 54 dB para la de recepción; una potencia de transmisión de 5.5 Watts y la distancia de separación entre los dos sitios a enlazar de 11.5 Km.

Para determinar la altura de las antenas considerando 2/3 el factor de curvatura de la Tierra tenemos:

$$h = 0.078d_1d_2 / k$$

$$h = 17.3 (10.5 \times 1 / (2/3))$$

$$h = 1.2285$$

Calculando la primer zona de Fresnel:

$$R = 17.3 (d_1d_2 / FD)^{1/2}$$

$$R = 17.3 ((10.5)(1) / ((550 \times 10^3)(11.5)))^{1/2}$$

$$R = 22.29 \text{ m.}$$

Considerando la altura sobre el nivel del mar:

$$h_{ref} = h_{snm} + h + N(R)$$

donde: $h_{snm} = 1800$ m

$$h = 1.2285$$

$N = 0.3$ de margen

$$R = 22.29$$
 m.

sustituyendo valores en la fórmula obtenemos:

$$h_{ref} = 1807.92$$
 m

y la antena se colocará a una altura de:

$$h_{ant} = h_{ref} - h$$

$$h_{ant} = 7.92$$
 m

Como ya se mencionó al principio del capítulo, las agencias de viajes pueden contar con diversos tipos de acceso a la red. En el caso específico de la red propuesta, se pretende conectar a las grandes agencias de viajes que cuenten en sus oficinas con más de cuatro terminales, líneas privadas y en donde la distancia de éstas hacia el nodo más cercano sea moderada; esto es, que se encuentren ubicadas en un perímetro aproximado de 30 millas hacia el nodo de la red y siempre y cuando la orografía de la zona lo permita, accesen a la red vía radioenlaces o mediante enlaces de fibra óptica.

Para las agencias de viajes que se ubiquen a una mayor distancia se podrán emplear enlaces de microondas. Cabe aclarar que en dichos sitios, los accesos serán síncronos y en cada oficina se tendrá un equipo de comunicaciones (PAD) el cual se encargará de proporcionar un mejor aprovechamiento del medio de transmisión empleado.

Las agencias de viajes pequeñas las cuales cuenten con una o hasta un máximo de tres terminales en cada una de sus oficinas y deseen conectarse a la red, podrán enlazarse a ésta mediante accesos asíncronos de red conmutada. En este caso, el sistema de tele-reservaciones ofrecerá el servicio de red conmutada usando líneas telefónicas digitales las cuales mejoraran la transmisión de la información, a pesar de que las agencias de viajes empleen líneas telefónicas analógicas, (las cuales presentan grandes pérdidas de atenuación, ruido, fluctuación de fase, eco, etc.) y en caso de que éstas usen también líneas telefónicas digitales, esta transmisión se llevará a cabo de una manera más eficiente.

5.2 TDMA. ACCESO MULTIPLE POR DIVISION DE TIEMPO.

El término de acceder significa básicamente que múltiples usuarios puedan ganar la entrada para compartir una facilidad común. El acceso múltiple se define como la técnica donde más de un par de estaciones terrenas pueden simultáneamente usar el transpondedor del satélite. Es la técnica utilizada para explotar la ventaja de la geometría del satélite. Otra forma de expresarlo es como la habilidad de interconexión simultánea de un gran número de estaciones terrenas para los diferentes servicios que puedan manejar, como voz, datos, TV, etc., a través de un transpondedor del satélite.

Al ser disponibles los enlaces intersatelitales, la definición se agrandó para incluir otros satélites y eventualmente (con el advenimiento de los satélites de multiservicios con conmutación intersatelital) otros servicios de uso.

Para subir la señal al satélite debe hacerse de una forma ordenada debido a que no se puede acceder de manera arbitraria, ya que de hacerlo se ocasionarían interferencias y colisiones entre la gran cantidad de portadoras que accesan a este medio de comunicación.

Uno de los tres tipos básicos de acceso es el TDMA (**Time Division Multiple Access - Acceso Múltiple por División de Tiempo**), el cual se basa en el TDM (**Time Division Multiplexing - Multiplexaje por División de Tiempo**), es decir, se multiplexa a varios canales en diferentes espacios de tiempo.

Se asigna a cada usuario un slot o ranura de tiempo dentro de una trama, en la cual una de estas ranuras está reservada para el control de la red siendo la que aporta el reloj de sincronía para todas las demás estaciones. Es decir, el TDMA opera en el

dominio del tiempo. El uso del transpondedor del satélite es una porción del tiempo básico. El tiempo separado es asignado en estaciones terrenas en orden secuencial. Cada estación terrena utiliza el total del ancho de banda del transpondedor durante el segmento de tiempo asignado. Dependiendo del ancho de banda del transpondedor se utilizará una velocidad de 10 a 100 Mbps. Con la operación TDMA las estaciones terrenas utilizan una modulación digital y transmiten ráfagas de información. La duración de una ráfaga es asignada para el período de tiempo de la ranura.

En un ejemplo simple, una portadora completa ocupa el transpondedor en un tiempo. Cada estación transmite una ráfaga de datos en su intervalo de tiempo exclusivamente asignado. La duración de la ráfaga puede variar para ajustarse a las necesidades de tráfico instantáneos de la estación. Tan pronto como la ráfaga de la estación es completada, otra estación consigue su ranura de tiempo asignado.

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

El TDMA se caracteriza por ser digitalmente compatible de manera inherente, utilizando la máxima capacidad de potencia de un transpondedor y ser eficiente en su ancho de banda, pero esto trae como consecuencia más complejidad (y mayor costo) en las estaciones terrenas que cuando se utiliza FDMA, debido a que necesita mantener el tiempo preciso de la red para operar en ráfagas promedio de 60-120 Mbits/seg. Este costo extra es especialmente notable en estaciones de pequeño tráfico.

Dos puntos importantes emergen de una breve discusión de la red TDMA:

1. La eficiencia de potencia en un transpondedor de satélite es maximizada permitiendo que el tubo de onda viajera (TWT) opere en saturación o cerca de ésta.
2. Las transmisiones contienen requisitos independientes para que ocurra la recuperación simultánea de portadora y reloj, manteniendo con eso el encabezado apto para tiempo de recuperación a un mínimo.

Otro factor importante en TDMA es que todos los usuarios ocupan el mismo ancho de banda de RF.

En la tabla 5.1 podemos observar algunas de las características importantes de TDMA.

Una variante del TDMA y utilizado actualmente en sistemas de satélites internacionales es el SSTDMA (**Satellite Switching TDMA** - Conmutación de Satélites con TDMA), el cual consiste en hacer un desvío de tráfico en los transpondedores según se desocupen, enrutando el tráfico de acuerdo a las necesidades y por espacios de tiempo.

El TDMA difiere del FDMA y del SCPC en que es totalmente digital y emplea la transmisión intermitente puesto que las estaciones terrenas comparten el mismo canal del transpondedor del satélite; cada estación terrena debe efectuar una cuidadosa temporización. El control de la red necesitará tener instalado un procesador digital en cada estación.

Potencia del transpondedor	<ul style="list-style-type: none"> a. Puede operar en saturación o ligeramente fuera de esa región. b. Cuando el ancho de banda está limitado permite que la eficiencia del ancho de banda de la potencia incremente la relación de la tasa utilizando modulación de mayor orden. c. El amplificador puede ser operado como un limitador para remover menos desvanecimientos de enlaces y eliminar la necesidad de un riguroso control de la potencia del enlace ascendente.
Ancho de Banda.	Cuando la potencia está limitada, permite de 2-5 dB FEC de ganancia codificada.
Plan de frecuencia.	Todos los accesos usan la misma banda de frecuencia.
Reconfiguración	Permite un ajuste fácil de la capacidad para cada acceso.
Carga de tráfico	<ul style="list-style-type: none"> a. Eficiente para una carga desde mediana a alta. b. Ineficiente para una carga de tráfico ligera. c. El ciclo de trabajo del amplificador del satélite y la potencia dc varía con la carga de tráfico. d. Las variaciones del ciclo de trabajo deben ser eliminadas a través del uso de bits dummy (PN)

TABLA 5.1 Características importantes del TDMA.

Mediante este sistema, las estaciones terrenas transmiten sus informaciones de manera discontinua, bajo la forma de paquetes de datos de corta duración con alta repetición. Cada estación emite sus paquetes en ciertos instantes de manera que llegan al satélite sin traslaparse con los paquetes emitidos por otras estaciones. Véase la figura 5.13.

El empleo de paquetes de datos implica que este sistema está vinculado a la digitalización de las señales.

En una red TDMA es fácil realizar el crecimiento del número de estaciones que accesan al satélite pues bastará con introducir a nivel de los órganos de gestión, los elementos necesarios para la inserción de nuevas estaciones de la trama.

En la tabla 5.2 se muestran los métodos de asignación de TDMA.

Una trama, en formato digital, puede ser definida como la repetición de ciclos de eventos. Esto ocurre en un período de tiempo conteniendo una sóia ráfaga digital de cada estación terrena y los períodos de guarda o tiempos de guarda entre cada ráfaga. Una trama simple es mostrada en la figura 5.14 para las estaciones terrenas 1, 2 y 3 hasta N. Típicamente los períodos de trama son 750 μ seg para INTELSAT y 250 μ seg para TELESAT canadiense.

El tiempo es crucial para la efectividad en la operación TDMA. Al tener un gran número N de llegadas, los demás relojes de las demás estaciones afectan el sistema. Una forma de asegurar que todas la estaciones se sincronicen a un reloj maestro es situar una ráfaga síncrona como el primer elemento en el formato de trama.

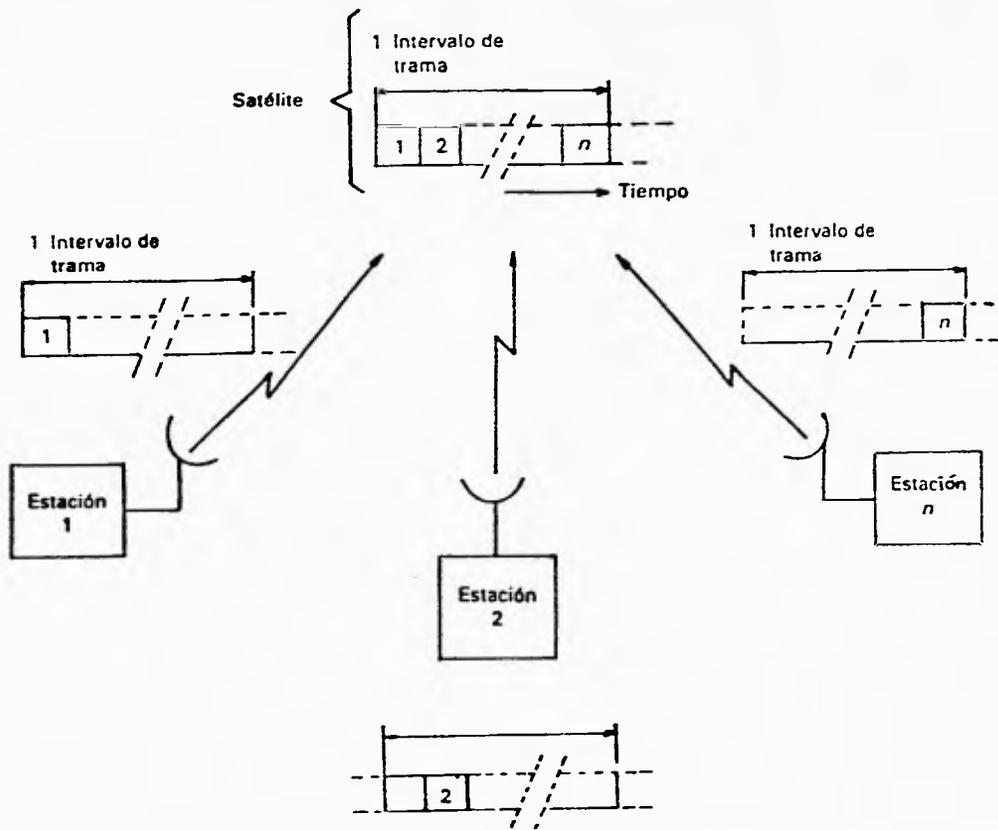


FIGURA 5.13 Secuencia de acceso en TDMA.

TABLA 5.2 Métodos de asignación de TDMA.

Sistemas de control.		
Protocolo asignado	Función	Eficiencia de la trama
1. Preasignado, TDMA arreglado	Ninguna necesidad	La más alta, ya que no hay necesidad de direccionar la estación o las ráfagas.
2. Preasignado	El control del sistema monitorea el tráfico y transmite un nuevo programa de asignaciones periódicamente.	Alta, ya que no hay necesidad, o sólo una pequeña, de direccionar las ráfagas de las estaciones individualmente; el control de la ráfaga es necesario para la red.
3. Demanda asignada.	El control del sistema asigna a cada trama una ranura de tiempo para la conexión durante la respuesta a la demanda de cada estación terrena.	Baja, ya que cada ráfaga debe contener la dirección de la estación; la sincronización puede ser débil.
4. Preasignación limitada, demanda super abundante	Similar a los casos 1 y 2 excepto que lo super abundante (horas ocupadas) se maneja por la demanda de asignaciones desde el fondo.	Combinación de los casos 1 y 2 (para un volumen normal de tráfico) y 3 para el caso de abundancia.

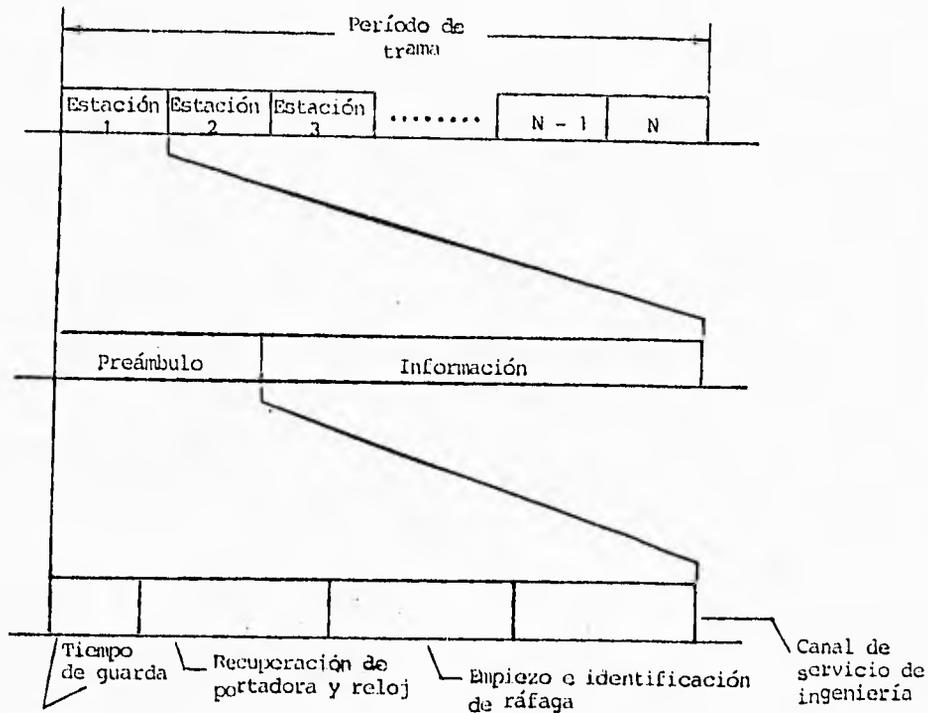


FIGURA 5.14 Ejemplo del formato de una trama de TDMA.

5.2.1. Características básicas del TDMA.

TDMA es un servicio digital compatible con las redes de telecomunicaciones digitales terrestres, fibras ópticas, video digital, paquetes conmutados, y operaciones de computadora a computadora.

Las técnicas digitales dependen de los circuitos integrados. Esto incluye métodos de procesamiento de discursos como la interpolación digital de comunicación (DSI **Digital Speech Interpolation**) , control digital eco, regeneración de bits en varios

puntos a lo largo de la cadena de comunicación (incluyendo el satélite), conmutación, ruteo, y comunicación intersatelital de pulsos de láser.

Por simplicidad se tratará con TDMA de una portadora por transpondedor (SCPT - **Single-carrier-per-transponder**). Se puede realizar también con múltiples portadoras por transpondedor.

TDMA divide el recurso del tiempo en pequeños segmentos con breves brechas (llamados tiempos de guarda) entre ellos. Véase la figura 5.15. Justo como FDMA divide las bandas de frecuencias del transpondedor en pequeñas sub-bandas con bandas de guarda entre ellas.

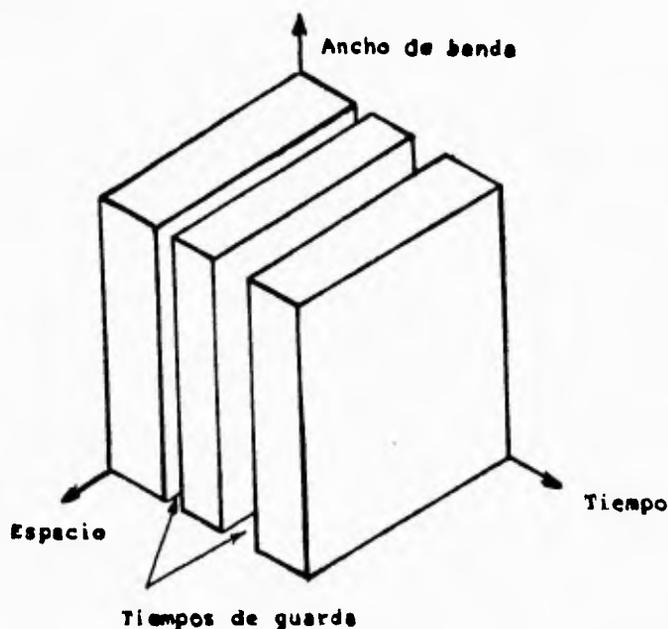


FIGURA 5.15 Acceso múltiple por división de tiempo. (TDMA).

En TDMA, a cada estación terrena se le asigna el uso de una ranura de tiempo exclusiva que no se encime durante la transmisión del tráfico acumulado como el flujo de la ráfaga de bit digital. El principio de la ráfaga de tiempo es establecido con respecto a la ráfaga de sincronización recibida de la estación de control central. El promedio del bit de ráfaga y la duración de la misma debe ser controlada. La duración es asignada por la estación de control para igualar la demanda de tráfico de cada estación de comunicación; así, hay una variación en la duración de la ráfaga de estación a estación. La duración puede ser rápidamente alterada para ajustar la demanda de tráfico en un instante de la estación.

Cualquier estación tiene acceso a las otras estaciones para interconectividad. TDMA ofrece una mejor dinámica operacional del uso del transpondedor.

Después de que una estación completa su ráfaga, el tiempo de guarda se provee antes de que la ráfaga de la siguiente estación comience. La longitud de este tiempo de guarda se establece en base de las variables anticipadas de retardo del equipo, adquisición de sincronización, y variaciones en los rangos de la línea de vista de la estación terrena al satélite. El tiempo de guarda previene colisiones de ráfagas debido a transmisiones simultáneas.

TDMA tiene la ventaja práctica de muchos más accesos por transpondedor que el FDMA. La capacidad de bit del TDMA es casi independiente del número de accesos, pero la necesidad de señalización y los múltiples tiempos de guarda pueden reducir el número de accesos cuando hay una gran cantidad de usuarios.

Como sólo una portadora está presente en un tiempo en el transmisor de la estación terrena o el transpondedor del satélite, los amplificadores de potencia pueden ser

operados en saturación de potencia completa porque no hay una segunda portadora presente para producir distorsión de intermodulación. El amplificador del satélite puede usar o tener un limitador debido a la operación SCPT.

El TDMA requiere de pulsos de los transmisores de la estación terrena y del satélite. El ciclo de trabajo del transmisor de la estación terrena es bajo, mientras que el ciclo de trabajo del satélite varía con los cambios en el factor de llenado del transpondedor, de bajo a casi continuo, es decir de poco tráfico a un transpondedor completamente cargado. Tanto las variaciones de términos largos como los diarios deben ser considerados. En algunos sistemas TDMA, una estación llena cualquier ranura de tiempo no usada con bits pseudo random para guardar el espectro pareciendo como ruido para reducir la interferencia a otros sistemas. Por esta razón una portadora TDMA al ser radiada desde un satélite puede parecer la misma a las 2 AM y a las 2 PM de un día de trabajo.

Un reto básico del TDMA es conseguir un canal de alta velocidad de PSK o FSK a través de un canal de una alta no linealidad y un ancho de banda limitado sin que se mezcle en un transpondedor adyacente y el uso de equipo caro de estación terrena.

Aunque una señal TDMA usualmente llena un transpondedor basado en SCPT, es posible compartir los recursos del transpondedor (potencia y frecuencia) con otro servicio o con señales independientes de TDMA. La operación de MCPT requiere un backoff para reducir la distorsión intersímbolo y la interferencia de un transpondedor adyacente debido al espectro disperso. Las variaciones de la demanda de la potencia punto a punto pueden ser destructivas para las señales analógicas FDMA que comparten el transpondedor. En un enlace ascendente TDMA con variación de

potencia (incluyendo la pérdida de tiempo lento de búsqueda) aparece directamente en el enlace descendente porque está operando en el modo lineal de amplificación.

A continuación se muestran las relaciones entre el porcentaje de bit (R_b ó $1/t_b$), el ruido de ancho de banda por canal (B), la relación de la energía por bit contra el ruido de la densidad de potencia (E_b/N_0), la relación total de portadora a ruido en el enlace (C_t/N_t), y la relación total de la portadora al ruido de la densidad de potencia.

La relación portadora a ruido se determina mediante la siguiente ecuación:

$$(C_t/N_t) = (E_b/N_0) + 10 \log_{10} (R_b/B) + M_t \text{ [dB]}$$

en donde

(C_t/N_t) Es la relación total de portadora a ruido requerida en un punto normal de operación [dB].

(E_b/N_0) Es la relación de densidad de energía por bit a ruido en el umbral para el BER dado; ver la figura 5.16.

R_b Es la razón de bit por segundo [bps]

B Es el ruido en el ancho de banda por canal [Hz]

M_t Es el margen del sistema para el BER dado; incluye la suma de todos los márgenes.

La figura 5.16 relaciona E_b/N_0 con el porcentaje del bit de error para varios sistemas digitales. Al incrementar los bits de control de error de adelanto a porcentajes por debajo de 1, el sistema se convierte en más tolerante al ruido, pero el número total de bits se incrementa, y por lo tanto el ancho de banda se amplía, de ese modo llega

más ruido a través de los filtros. Por ejemplo, un porcentaje de $\frac{1}{2}$ QPSK, tiene un FEC para cada bit de información. Para un porcentaje de error de bit dado (BER), se requieren 3 dB menos E_b / N_0 que en BPSK (pero hay 3 dB más de ruido debido al doble ancho de banda). Es 6 dB mejor que con el código QPSK con un BER de 10^{-4} .

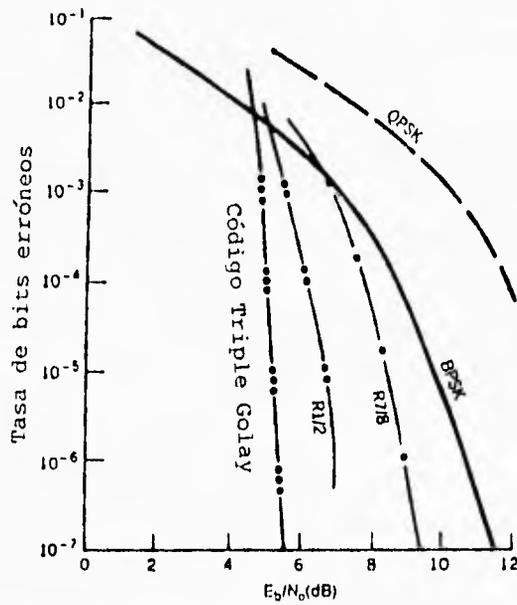


FIGURA 5.16 Desarrollo de error (R, porcentaje de codificación).

La relación de densidad de potencia de la portadora a ruido está dada por:

$$(C_t / N_0 t) = (C_t / N_t) + 10 \log 10 B \text{ [dBHz]}$$

donde

(C_t / N_{ot}) es la relación de la densidad de la portadora a ruido total [dBHz]

(C_t / N_t) es la relación total de la portadora a ruido requerida en un punto normal de operación. [dB]

B es el ruido en el ancho de banda por canal [Hz]

Los términos de (C_t / N_t) y (C_t / N_{ot}) son los niveles requeridos en el punto de la demodulación. Al demodular la señal en el satélite y regenerar la señal, las degradaciones en el enlace ascendente y descendente pueden ser separadas, así la estación terrena receptora se interesa se enfoca sólo al enlace descendente (en vez del enlace en sus dos fases, como en el caso de los satélites no regenerativos).

La tabla 5.3 muestra varios métodos de FSK y PSK usados para TDMA y otros servicios digitales.

El porcentaje de bit R_b es el inverso del tiempo por bit ($R_b = 1/t_b$), así la relación R_b/B se convierte en $1/B t_b$. En algunos casos, el producto $B t_b$ es usado como la figura de mérito. Este es el recíproco de R_b / B . En la figura 5.17 se muestra un nomograma para encontrar esta relación.

A continuación se presenta la tabla 5.3.

Modulación.	Fases, Bits por símbolo (Rb/S)	Eb/No, BER= 10^{-5} (dB)	Eb/No BER 10^{-7} (dB)
FM	2	13.4	15.1
	4		21.2
	8		25.1
DPSK, diferencialmente detecta PSK	2 (BPSK)	10.3	12.1
	2 (R ½)	6.5 ^b	-
	4 (QPSK)	12.3	14.1
	4 (R 7/8)	9.4	10.6
	4 (R 3/4)	7.1 ^b	8.5
	4 (R ½)	6.3	7.4
	8	16.2	18.2
16	21.0	23.2	
32	26.0	28.2	
CPSK, PSK coherente	2	8.3	11.3
	2 (R 7/8)	7.3	-
	2 (R 3/4)	4.6	8.6
	2 (R ½)	3.6	5.8
	4	12.5	11.3
	8	17.6	14.9
	16	23.0	19.6
	32	28.2	24.6
64		29.9	
QASK, 4-fases ASK	2	1.6 - 2	-

TABLA 5.3 Transmisiones digitales. *

Modulación.	Fases, Bits por símbolo (Rb/S)	Eb/No, BER= 10^{-5} (dB)	Eb/No BER 10^{-7} (dB)
CPFSK, fase continua	2	9.5	12
FSK	3	8.6	10.4
	5	8.4	10.2
MPSK, filtro PSK por pareja	2	9.8	11.2
	4	12.6	14.3
QASK, MAMSK AM, multitono	4	13.4	
VSB/SC o QAM/SC, Lóbulo lateral de vestigio o 4 fases AM suprimido	4	-	15.1 ^c
	16	-	21 ^c
Portadora	64	-	27.3

TABLA 5.3 Transmisiones digitales. ^a

^a Código: porcentaje 1 (no código) a menos que otros sea anotado.

^b Decodificador Viterbi

^c BER de 10^{-8} ; dos fases = BPSK, cuatro fases = QPSK, m-fases = MPSK, ASK = amplitude shift keying

NOTA: Estos datos vienen de muchas fuentes con varios márgenes. Esta tabla debe ser usada sólo como una guía de comparación.

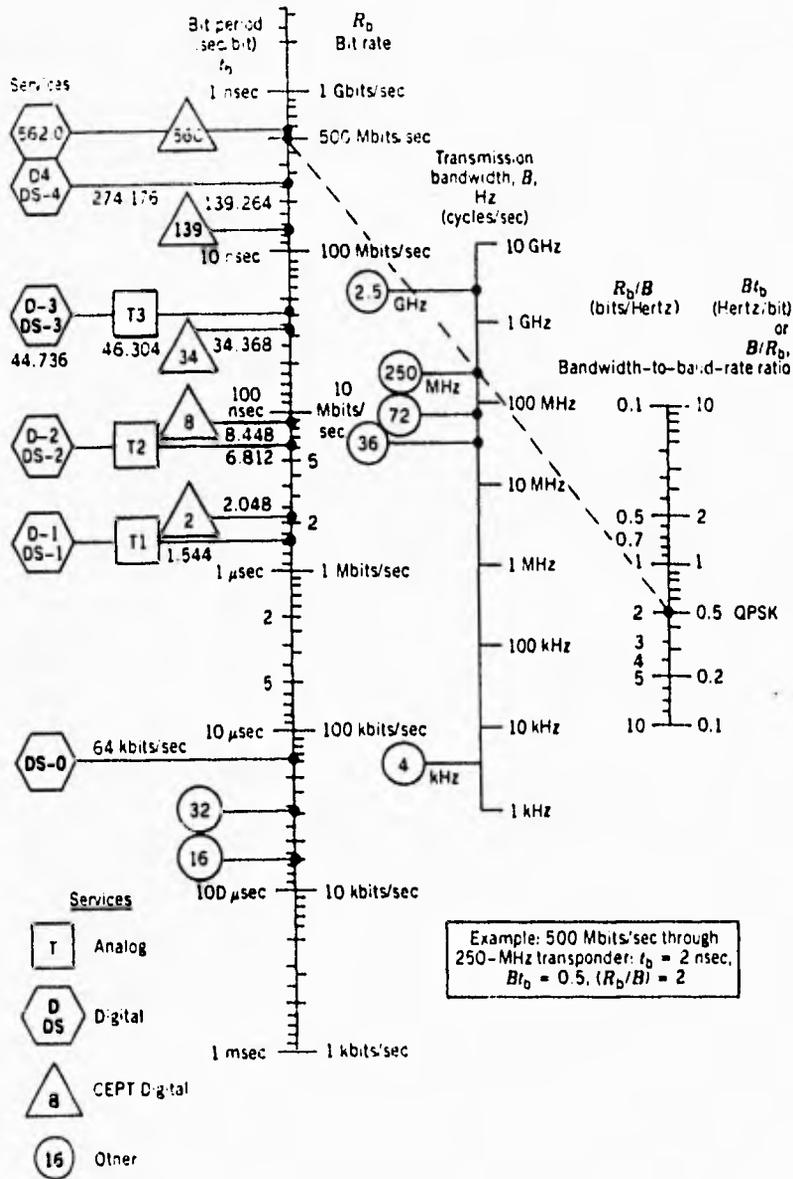


FIGURA 5.17 Nomograma del espectro TDMA.

En la práctica los modems PSK manejan el producto $B f_b$ con un valor de 1.2. La cantidad de energía integrada después de filtrar por varios métodos se muestra en la figura 5.18.

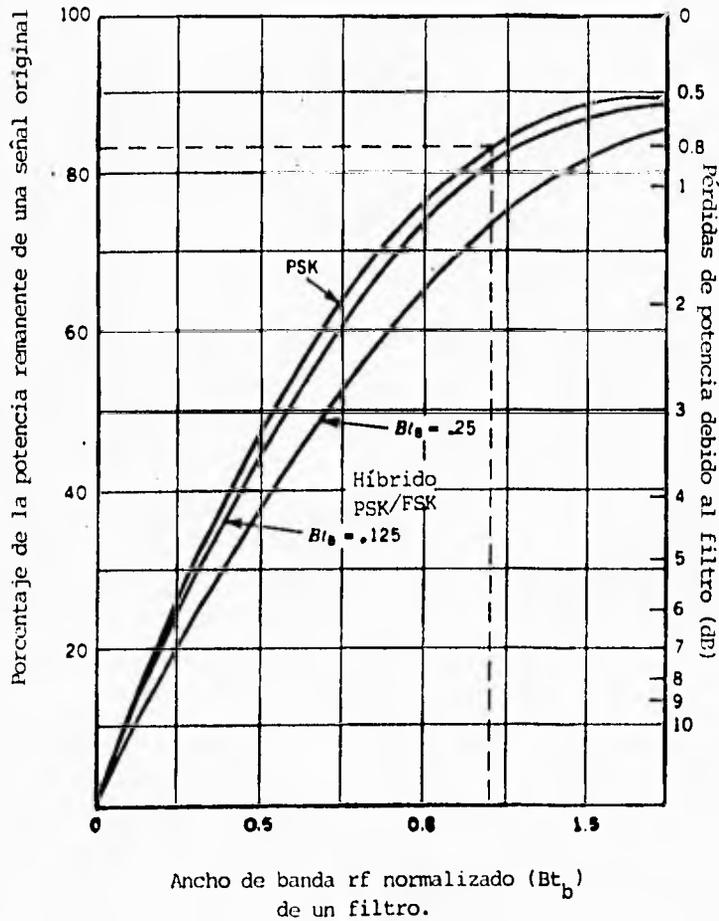
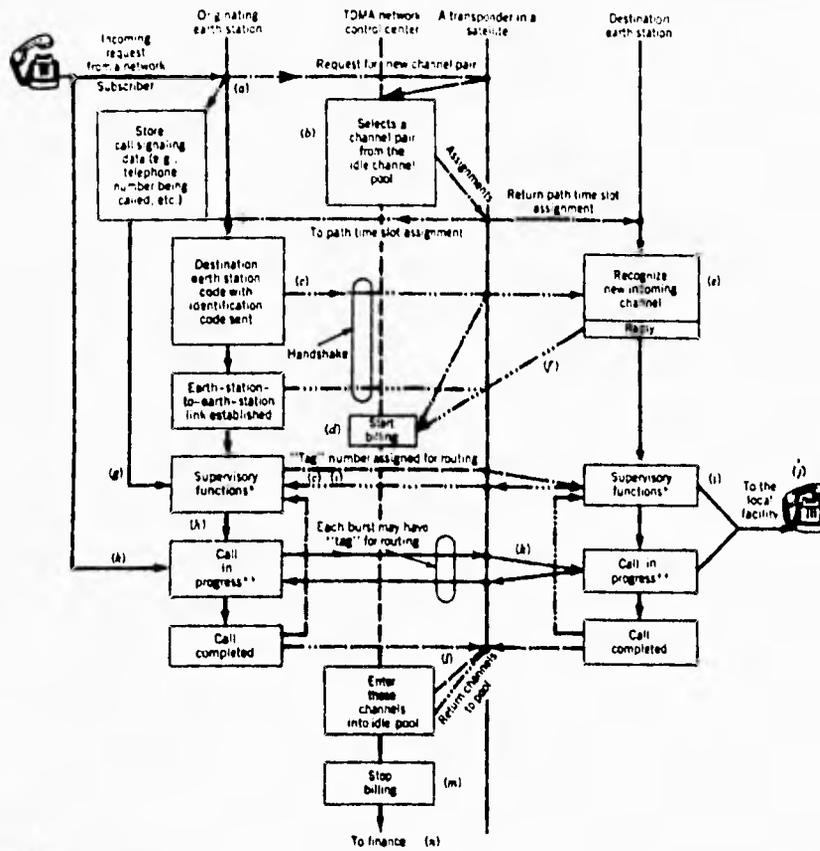


FIGURA 5.18 Señal de potencia remanente después de los filtros.

5.2.2 Operaciones con TDMA.

En la figura 5.19 se muestra una secuencia típica de adquisición de una ranura de tiempo asignada, de manera simplificada. En la misma observamos que una petición de canal digital de entrada se recibe (a) desde una facilidad en tierra, como una computadora por ejemplo. La estación terrena de origen es asignada a una ranura de tiempo desocupada por el centro de control de la red (b). La estación terrena transmite una petición de canal a la estación terrena destino usando el código de estaciones terrenas. Una llamada "etiqueta" de identificación se añade para un uso posterior en las rutas de mandato y retorno (c). Esta etiqueta se usará en cada ráfaga subsecuente. Este procedimiento es reconocido por dos estaciones: el centro de control TDMA que asigna los canales desocupados y hace que el reloj empiece a funcionar (d), y la estación terrena de destino (e). La estación de destino toma una respuesta al canal de ranura de tiempo que ha sido asignado y establece una ruta de retorno (f). Mientras esto pasa, la llamada de entrada es despojada de su información de supervisión, la que consiste de los códigos de localización necesarios. Esta información se almacena (g) hasta que el equipo de supervisión local (h) indica que la conexión de dos caminos se ha establecido y el destino está listo para recibir esta supervisión y el control de datos (i) y pasa a una facilidad terrestre distante (j). Cuando esto es completado, la llamada procede (k). Al desconectarse cualquiera de las partes, el equipo de supervisión señala una llamada terminada, y cada estación regresa su ranura de tiempo (l). El centro de control reconoce esto, detiene el reloj de factura (m), y añade los cargos por recursos utilizados a la cuenta de la estación (n). En algunas aplicaciones las condiciones de operación para cada estación terrena puede ser cambiada al usar nuevo software para las operaciones de la red vía satélite.



[—] Information

- - - - - Housekeeping (order wires)

*CCITT MF dial tones, ringing, answer, disconnect, preemption, billing codes, etc.

**Digital speech interpolation (DSI) may be inserted here to time-share the connection among several users.

(a) to (n)—see text

FIGURA 5.17 Canales de asignación para TDMA.

Nótese que cada estación terrena de destino TDMA, (y las demás), deben "oír" y decodificar la dirección de cada ráfaga de petición aún cuando el tráfico no sea para la estación, a menos de que haya ranuras de tiempo arregladas.

Los requerimientos de CCIR para una llamada PCM de 8 bits con un porcentaje de error de bit de 10^{-6} con clima despejado. Bajo condiciones adversas, como por ejemplo con lluvia, la salida (cuando el porcentaje del bit de error es 10^{-4}) debe ser menor a 0.3% en cualquier mes. Cualquier mes se refiere prácticamente al peor mes de un año típico. De manera típica, una diferencia de 3 dB, de mejora, en el valor de E_b / N_0 resulta en un cambio del porcentaje del bit de error de 10^{-4} a 10^{-6}

La fórmula para determinar la potencia de la estación terrena se muestra a continuación:

$$W_a = (E_b / N_0)_a + 10 \log_{10} (R_b / B) + 10 \log_{10} B + 20 \log_{10} f_a - (G / T_s)_a - M_l - 207,1 \text{ [dBW/m}^2\text{]}$$

donde

W_a Es el nivel de iluminación requerido en el satélite para conducir el transpondedor a su punto de operación. [dBW/m²]

$(E_b / N_0)_a$ Es la relación de energía por bit a ruido en la densidad en el enlace ascendente requerido por el porcentaje del bit de error específico [dB]

R_b Es el porcentaje de la transmisión de bit [bits/seg]

B Es el ruido en el ancho de banda [Hz]

f_a Es la frecuencia del enlace ascendente [GHz]

$(G / T_s)_a$ Es la figura de mérito del sistema receptor del satélite. [dBi / K]

TIPOS DE ACCESO A LA RED

- M_j Es el margen para la distorsión intersímbolo debido a las no linealidades del HPA y el TWTA del satélite. [dB]
- 207.1 Es una constante de la que se hablará a continuación, y sus unidades son [dB W / m² GHz Hz K]

El término de 207.1 , de $4\pi k / c^2$ es una combinación de constantes, incluyendo la constante de Boltzmann k y la velocidad de la luz c .

Para calcular la potencia del enlace ascendente, tenemos la siguiente expresión:

$$P_a = W_a - G_a + L_{sum} - BO_j + 163.3 \text{ [dBW]}$$

donde

- P_a Es el requerimiento de la potencia pico del transmisor de la estación terrena. [dBW]
- W_a Es el nivel de iluminación en el satélite [dBW/ m²]
- G_a Es la ganancia de la antena de transmisión de la estación terrena [dBi]
- L_{sum} Es la suma de las pérdidas adicionales (exceptuando las del rango de la línea de vista al horizonte), márgenes, y errores permitidos [dB]
- BO_j Es el backoff de la entrada del transpondedor [dB]
- 163.3 Es una constante de la que se hablará más adelante, cuyas unidades son [dBm²]

El término de 163.3 de $\pi (2000 S)^2$ incluye el rango máximo de línea de vista $S = 41,679$ km (para un ángulo de elevación de 0°), un término de conversión $\pi/4$ para una antena de un metro cuadrado, y un término de 1000 para la conversión entre kilómetros y metros.

TIPOS DE ACCESO A LA RED

- M_i Es el margen para la distorsión intersímbolo debido a las no linealidades del HPA y el TWTA del satélite. [dB]
- 207.1 Es una constante de la que se hablará a continuación, y sus unidades son [dB W / m² GHz Hz K]

El término de 207.1 , de $4\pi k / c^2$ es una combinación de constantes, incluyendo la constante de Boltzmann k y la velocidad de la luz c .

Para calcular la potencia del enlace ascendente, tenemos la siguiente expresión:

$$P_a = W_a - G_a + L_{sum} - BO_i + 163.3 \text{ [dBW]}$$

donde

- P_a Es el requerimiento de la potencia pico del transmisor de la estación terrena. [dBW]
- W_a Es el nivel de iluminación en el satélite [dBW/ m²]
- G_a Es la ganancia de la antena de transmisión de la estación terrena [dBi]
- L_{sum} Es la suma de las pérdidas adicionales (exceptuando las del rango de la línea de vista al horizonte), márgenes, y errores permitidos [dB]
- BO_i Es el backoff de la entrada del transpondedor [dB]
- 163.3 Es una constante de la que se hablará más adelante, cuyas unidades son [dBm²]

El término de 163.3 de $\pi (2000 S)^2$ incluye el rango máximo de línea de vista $S = 41,679$ km (para un ángulo de elevación de 0°), un término de conversión $\pi/4$ para una antena de un metro cuadrado, y un término de 1000 para la conversión entre kilómetros y metros.

TIPOS DE ACCESO A LA RED

Los valores típicos que se manejan para TDMA, con un M_I de 3 dB se muestran en la tabla 5.4.

La figura 5.20 muestra la composición de una trama típica de TDMA y una ráfaga individual. La función de cada elemento se da en la tabla 5.5.

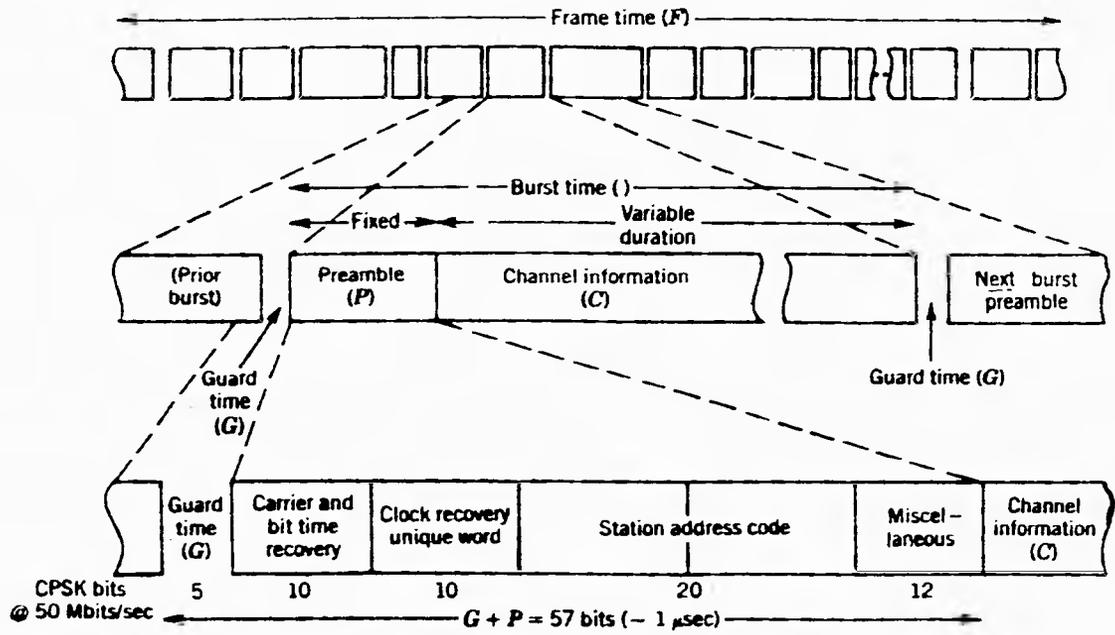
E_b / N_o	Ver la figura 5.15	
R_b / B	Ver la tabla 5.6	
$f, R_b, (G/T_e)_u, G_u$	Valores dados del sistema.	
Bo_i [dB]	Bo_o [dB]	Notas
-4	-0.8	Ver la figura 5.21
-0	0.0	Saturación
+1.2	0.0	Modo auto - limitante
f_a [GHz]	L_{sum} [dB]	
6.0	4.0	
7.5	6.5	
14.0	10.0	

TABLA 5.4 Valores típicos para TDMA. (Valor típico para M_I , 3 dB).

En la tabla 5.6 se dan diferentes valores de ancho de banda para modulaciones típicas.

FIGURA 5.20

Organización de una trama de TDMA.



ELEMENTO.	PROPOSITO.
Tiempo de guardia, t_g o G	El tiempo entre el último bit de la ráfaga n y el primer bit del preámbulo de la ráfaga (n+1); permite alguna variación en el tiempo del flujo de bits de una ráfaga individual (debido a las diferencias en el rango del punto de vista y los retardos del equipo); el tiempo de guarda asegura que las ráfagas sucesivas no colisionarán en el tiempo.
Preámbulo o P	Sincronización, tiempo, dirección, y bits misceláneos; preámbulo y tiempos de guarda representan al sistema TDMA elevado.
Recuperación de la portadora de sincronización.	El modelo de pulsos (casi siempre 1111 ó 1010 ..) usados en el modem receptor para recuperar rápidamente cada nueva portadora (cada ráfaga puede ser una nueva portadora); el seguro del lazo de portadora usa estos pulsos para asegurar a los mismos; el número de pulsos se define por el seguro del lazo de adquisición de tiempo.

TABLA 5.5 Elementos de una ráfaga de TDMA.

ELEMENTO.	PROPOSITO.
Recuperación del bit de tiempo de sincronía.	Durante o después de que se encierra la portadora estos bits permiten al modem desarrollar el porcentaje de bit de sincronización; las estaciones de transmisión individual pueden tener diferencias muy pequeñas en los porcentajes de bits debido a las variaciones en la distancia entre la estación transmisora y el satélite, variarán los retardos relativos entre las ráfagas (y así el bit de fase).
Misceláneo.	Usado por varias funciones de gobierno como la petición de una nueva ráfaga, telemetría de la estación, los cables de orden, ajustes de potencia, transmisión, secuencias de relación de error de bit, datos de peaje de estación a estación, e identifica la radiación de la antena en el enlace descendente para SDMA, SS/TDMA, etc.

TABLA 5.5 Elementos de una ráfaga de TDMA.

ELEMENTO.	PROPOSITO.
Dirección de la estación.	<p>El código de identificación provee la dirección de la estación receptora. En algunos sistemas cada estación terrena recibe todas las ráfagas, decodificando cada ráfaga en busca de su dirección y descarta todas las ráfagas de las otras estaciones y procesa sus propias ráfagas; el código puede también identificar la estación que envía; puede ser incorporado en su reloj de recuperación de su palabra única. Si el sistema TDMA tiene arreglado un formato de ranura de tiempo o ráfaga que anuncia todas las asignaciones de ranura de tiempo periódicamente, la dirección de la estación puede ser eliminada de ráfagas individuales para SDMA/SS/TDMA los bits pueden ser usados por conmutación satelital para el ruteo para regeneración/remodulación de repetidora y puede ser usado a bordo del satélite para cambiar el formato del bit que entra a uno compatible con el enlace descendente escogido.</p>

TABLA 5.5 Elementos de una ráfaga de TDMA.

ELEMENTO.	PROPOSITO.
Información en C	<p>Bits de datos, el bloque de bits puede contener uno o varios trenes de información destinados para uno o varios circuitos, además de la paridad de los bits y la corrección de error (FEC - Forward Error Correction) puede ser incluido.</p> <p>La interpolación digital del discurso (DSI - Digital Speech Interpolation) puede ser usado.</p>

TABLA 5.5 Elementos de una ráfaga de TDMA.

El preámbulo y los tiempos de guarda reducen la capacidad de un sistema TDMA totalmente cargado, justo como las bandas de guarda reducen la capacidad del FDMA. La ráfaga del porcentaje de bit R_b se muestra en la siguiente ecuación:

$$R_b \approx (NP + CF) / (F - NG) \quad [\text{bits/seg}]$$

donde

- R_b Es la ráfaga de porcentaje de bit [bits/seg]
- N Es el número de estaciones terrenas (ranuras de tiempo) (cantidad por ráfaga)
- P Es el número de bits de preámbulo
- C Es el porcentaje de bit de información [bits/seg]
- F Es el período o períodos de trama [seg]
- G Es el tiempo o tiempos de guarda [seg]

TABLA 5.6. Diferentes valores de anchos de banda para modulaciones típicas.

Modulación	Porcentaje de FEC	Estados de fases	Bits de información por símbolo	Hertz por bit (b/s)	Eb/No para un BER de 10^{-4} (dB)	Anchos de banda para una tasa de información de ^a			
						56 kb/s (kHz)	64 kb/s (kHz)	1.544 Mb/s (MHz)	2.048 Mb/s (MHz)
BPSK(2PSK)	R 1	2	1	1	8.2	56.0	64.0	1.544	2.048
	R 7/8					64.0	73.1	1.765	2.341
	R 3/4					74.7	85.3	2.059	2.731
	R 2/3					84.0	96.0	2.316	3.072
	R 1/2					112.0	128.0	3.088	4.096
QPSK(4PSK)	R 1	4	2	0.5	9.0	28.0	32.0	0.772	1.024
	R 7/8					32.0	36.6	0.882	1.270
	R 3/4					37.3	42.7	1.029	1.365
	R 2/3					42.0	48.0	1.158	1.536
	R 1/2					56.0	64.0	1.544	2.048
8 PSK	R 1	8	3	0.33	12.5	18.7	21.3	0.515	0.683
	R 7/8					21.3	24.4	0.588	0.780
	R 3/4					24.9	28.4	0.686	0.910
	R 2/3					28.0	32.0	0.772	1.024
	R 1/2					37.3	42.7	1.029	1.365
16 PSK	R 1	16	4	0.25	17.2	14.0	16.0	0.386	0.512
32 PSK	R 1	32	5	0.20	22.1	11.2	12.8	0.309	0.410
64 PSK	R 1	64	6	0.17	27.0	9.3	10.7	0.257	0.341

^a El ancho de banda de ruido del receptor debería ser más ancho para acomodar el DRIFTING del oscilador local en las dos estaciones terrenas y el satélite. A través del uso de filtros y métodos de modulación avanzados estos anchos de banda pueden ser mas reducidos.

TIPOS DE ACCESO A LA RED

Los parámetros muestra se dan en la tabla 5.7, mientras que en la siguiente ecuación se muestra el máximo porcentaje de bit bajo condiciones limitantes, tenemos entonces que cuando se tiene ancho de banda limitado se utiliza:

$$R_b = 10^{(10 \log_{10} B + 10 \log_{10} A - 10 \log_{10} B/R_s) / 10} \text{ [Mbits/seg]}$$

donde

R_b Es el porcentaje de bits [Mbits/seg]

B Es el ancho de banda del transpondedor [MHz]

A Es los bits de información por símbolo (relación)

R_s Es el porcentaje de símbolo de banda limitada [símbolos $\times 10^6$ / seg]

Y para el caso de una potencia limitada R_b se calcula de la siguiente manera:

$$R_b = 10^{(PIRE_d - L_d + (G/T_s)_d + 228.6 - (E_b / N_0) - M) / 10} \text{ [bits/seg]}$$

donde

R_b Es el porcentaje de bits [bits/seg]

$PIRE_d$ Es el PIRE del satélite [dBW]

L_d Son las pérdidas del enlace descendente, principalmente por la línea de vista y la lluvia [dB]

$(G/T_s)_d$ Es la figura de mérito de la estación terrena [dB/K]

228.6 Es la constante de Boltzmann [dBW / K / Hz]

(E_b / N_0) Es la relación de energía por bit a densidad de ruido escogida [dB]

M Es el margen [dB]

Símbolo	Definición	Valores	Muestra
C	Porcentaje de información o porcentaje de símbolo.	45 bits/seg	45×10^6 bits/seg
G G	Tiempo de guardia.	200 nseg	200×10^{-9} seg
P	Preámbulo	200 bits	200 bits
N	Ranuras de tiempo o estaciones terrenas.	10 ranuras de tiempo o estaciones terrenas.	10
F	Longitud de trama o período	1 mseg	1×10^{-3} seg
R b	Porcentaje de ráfaga de bit.	47.094 Mbits/s	47.094×10^6 bps.

TABLA 5.7. Valores muestras de parámetros que se utilizan en la ecuación de porcentaje de bit de TDMA.

La figura 5.21 muestra la relación del porcentaje de bit de información entre el porcentaje del bit de ráfaga como una función de la trama de período F. Otros aspectos en la selección de la trama de tiempo son la cantidad de almacenamiento de la terminal (entre ráfagas), la cola de retardos, las demoras de voz, y que tan largo puede mantener el equipo de la estación la trama de sincronía.

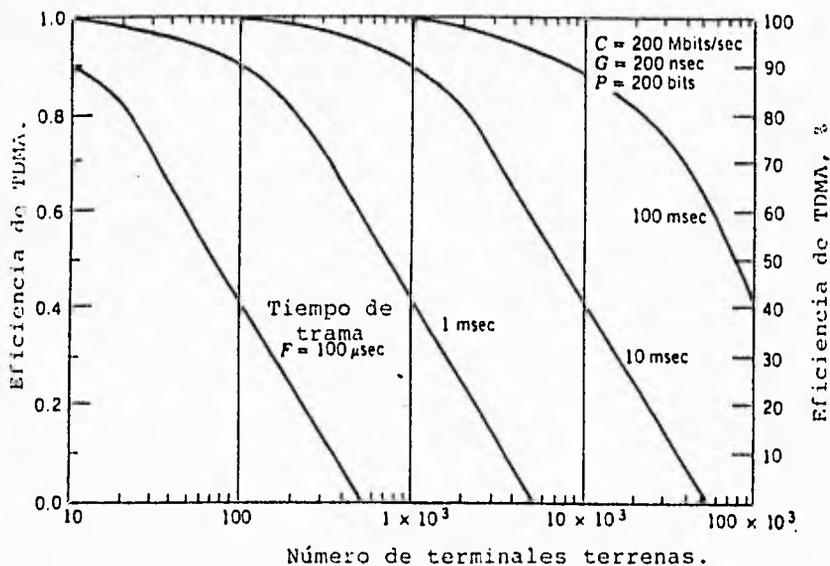


FIGURA 5.21 Eficiencia de TDMA para varias duraciones de trama.

El canal de información puede ser subdividido en uno o más canales o paquetes de longitud uniforme o no. En general, la longitud de cada ráfaga es uniforme o puede ser un múltiplo de una longitud de ráfaga estándar, algunas veces con el tiempo de guarda incluido.

El código de Corrección de Error (FEC - **Forward Error Correction**) es usado para vencer los largos tiempos de retardo y los altos requerimientos de almacenamiento inherentes en las técnicas de petición automática de retransmisión (ARQ).

El FEC puede reducir el requerimiento de E_b / N_0 de 5 a 6 dB sólo si es suficiente un mayor ancho de banda disponible (capacidad de porcentaje de bit). El factor Q_d ó [$PIRE + (G/T_s)_d$] puede ser disminuido mediante el FEC. Si la potencia del enlace descendente se limita, el FEC puede mantener el throughput a pesar de los bits redundantes que añade el mismo FEC (asumiendo que el más alto porcentaje del bit de sistema, R_b puede ser acomodado en el ancho de banda del transpondedor). Un sistema descomprimido por la potencia o ancho de banda puede usar pequeñas antenas (y así equipo de rf menos caro) o sobrevivir a las condiciones de ruido, así como la larga operación en lluvia, interferencia, y cosas así.

La capacidad del transpondedor se muestra en la figura 5.22. Cuando un número de canales (N_c) iguala al número de ranuras de tiempo (N), el servicio es un sólo canal por ráfaga (SCPB - **single channel per burst**). Todos los demás casos involucran al menos algunos canales múltiples por ráfaga (MCPB - **multiple channels per burst**). En las figuras 5.23 y 5.24 se muestran las capacidades de los canales de TDMA de varios transpondedores.

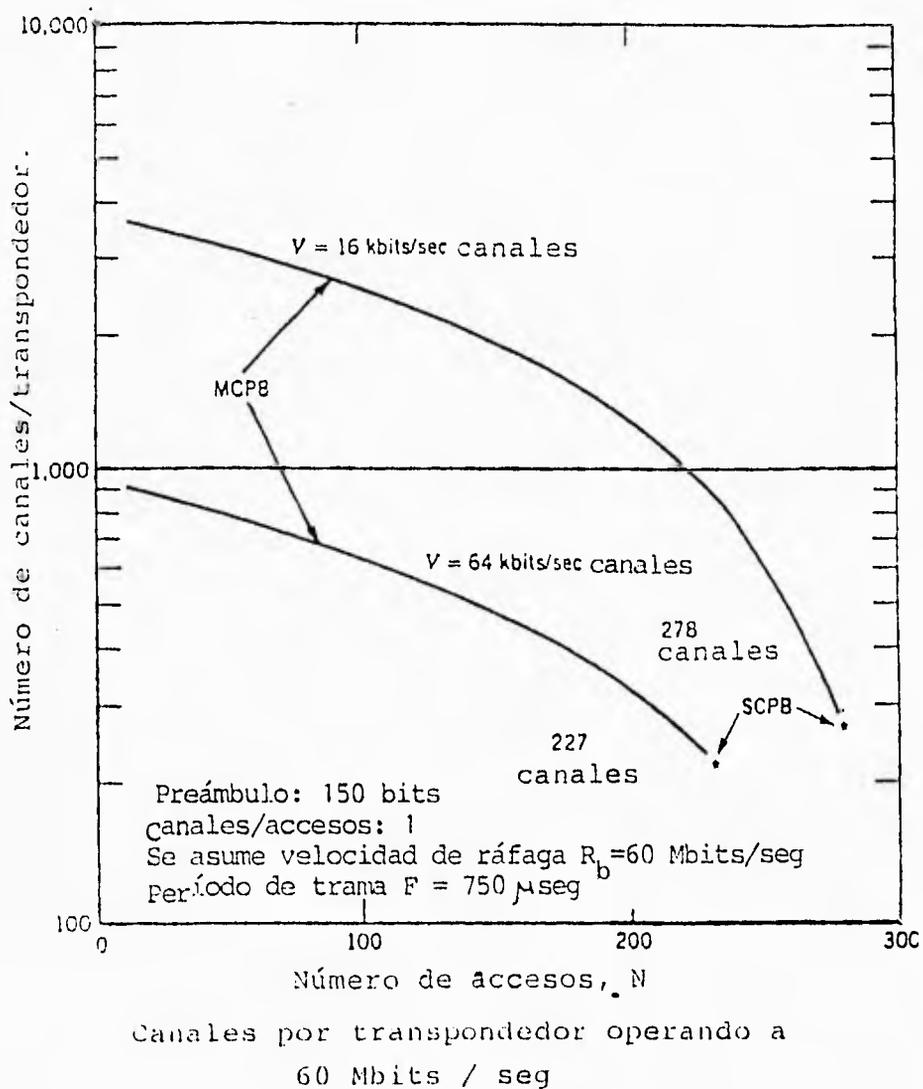
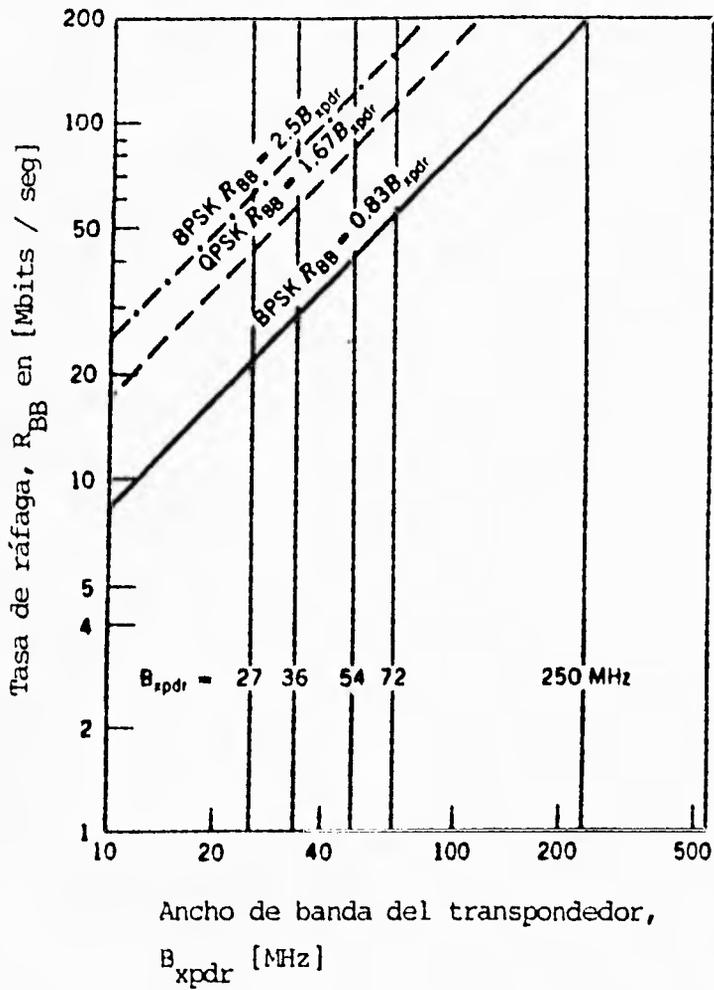


FIGURA 5.22 Capacidad del transpondedor versus el número de accesos.



R_{BB} = tasa de banda base, B_{xpdr} = ancho de banda del transpondedor.

FIGURA 5.23 Porcentajes de ráfagas de TDMA en un transpondedor de ancho de banda limitado.

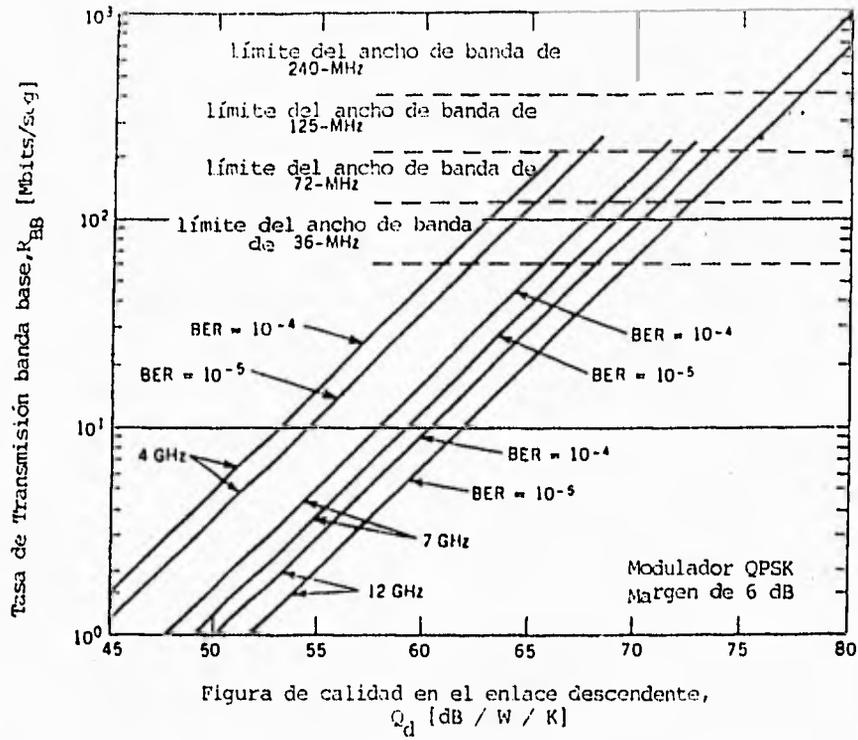


FIGURA 5.24 Capacidad de TDMA con potencia limitada.

6.2.3. Deterioro del TDMA.

La tabla 5.9 muestra las principales fuentes de deterioro del TDMA.

TIPOS DE ACCESO A LA RED

Elemento	Efecto	Localización
ESTACION TERRENA QUE TRANSMITE LA CADENA.		
Reloj rápido o lento	Fuera de tolerancia del porcentaje de bit.	Modem
Ancho de banda	Restringe la cantidad de energía del lóbulo lateral.	Filtros de frecuencia intermedia.
Retardo de grupo	Distorsión en pulsos individuales, lo que los hace difíciles de decodificar, lo que empeora el BER.	Filtros y HPA.
Distorsión AM ¹	Distorsión en pulsos individuales, lo que los hace más difíciles de decodificar, y empeora el BER.	HPA.
Distorsión AM/PM	Distorsión en pulsos individuales, lo que los hace más difíciles de decodificar, empeora el BER.	HPA
Polarización pobre de la antena.	Lo mismo que en los casos anteriores.	Antena

TABLA 5.9 Fuentes de deterioro de TDMA.

TIPOS DE ACCESO A LA RED

Elemento	Efecto	Localización
ENLACE ASCENDENTE		
Interferencia de cofrecuencia del sistema satelital adyacente o polarización cruzada en el sistema cosatelital.	Interferencia en el transpondedor y ruido en la potencia compartida.	Lóbulos laterales de la antena, radiación fuera de la banda ES, un pobre aislamiento en la polarización cruzada
Desvanecedor.	Uso del transpondedor no óptimo. C_u / N_u grados.	Precipitación.
Obstrucción	Captura del canal de asignación y de control.	Otras estaciones terrenas (incluyendo la petición de canal no intencional debido al malfuncionamiento en la estación terrena).

TABLA 5.9 Fuentes de deterioro de TDMA.

TIPOS DE ACCESO A LA RED

Elemento	Efecto	Localización
Variación de retardo.	Defasamiento de bits entre ráfagas	Diferencia en las longitudes de ruta en el enlace ascendente desde varias estaciones terrenas y el movimiento del satélite.
SATELITE		
Ancho de Banda	Restringe la cantidad de energía en los lóbulos laterales.	Filtros de entrada.
Canal no lineal.	Distorsión de intersímbolo.	Amplificador y espectro traslapado.
Grupo de retardo	Distorsión en un pulso individual, empeora el BER.	Amplificadores.
Distorsión AM ¹	Distorsión en un pulso individual, empeora el BER.	Amplificadores.
Distorsión AM/PM	Distorsión en un pulso individual, empeora el BER.	Amplificadores.

TABLA 5.9 Fuentes de deterioro de TDMA.

Elemento	Efecto	Localización
Ecuilización impropia.	Distorsión en un pulso individual, empeora el BER.	Filtros de entrada.
Aislamiento de co-canal	Interferencia (ruido) de polarización cruzada.	Aislamiento en la radiación de la antena, errores de radiación puntual debido al control de altitud.
Multiruta	Interferencia de los canales adyacentes.	Aislamiento en la radiación de la antena, filtros.
ENLACE DESCENDENTE		
Precipitación	Desvanecimiento (reducción en el nivel de la portadora), incremento del ruido (reducción en G/T_s)	En la ruta.
Variación en el retardo	Variación instantánea en el bit y la ráfaga, variaciones Doppler	Mantenimiento de la longitud y latitud del satélite.

TABLA 5.9 Fuentes de deterioro de TDMA.

TIPOS DE ACCESO A LA RED

Elemento	Efecto	Localización
RECEPTOR DE LA CADENA DE LA ESTACION TERRENA		
Lóbulos laterales	Interferencia de otros satélites o servicios.	Antena.
Linealidad	Espectro disperso y distorsión de intersímbolo.	LNA, IF
Umbral	Detección de preámbulo (dirección de la estación)	Modem
EQUIPO DE CONTROL DE LA ESTACION TERRENA		
Sincronización	Porcentaje de ráfaga de bit.	Control
Recuperación de reloj	Pérdida de sincronía.	Control
Demora en la ráfaga	La ráfaga se transmite en la ranura de tiempo errónea.	Control
Recuperación de portadora.	Pérdida de la portadora.	Control

¹ Conocido también como distorsión AM/AM.

TABLA 5.9 Fuentes de deterioro de TDMA.

Los filtros del satélite son una limitación primaria. El espectro de PSK es ancho (como se puede apreciar en la figura 5.25). En la figura 5.26 se muestran los efectos de dos tipos de filtro en el porcentaje de bit de error.

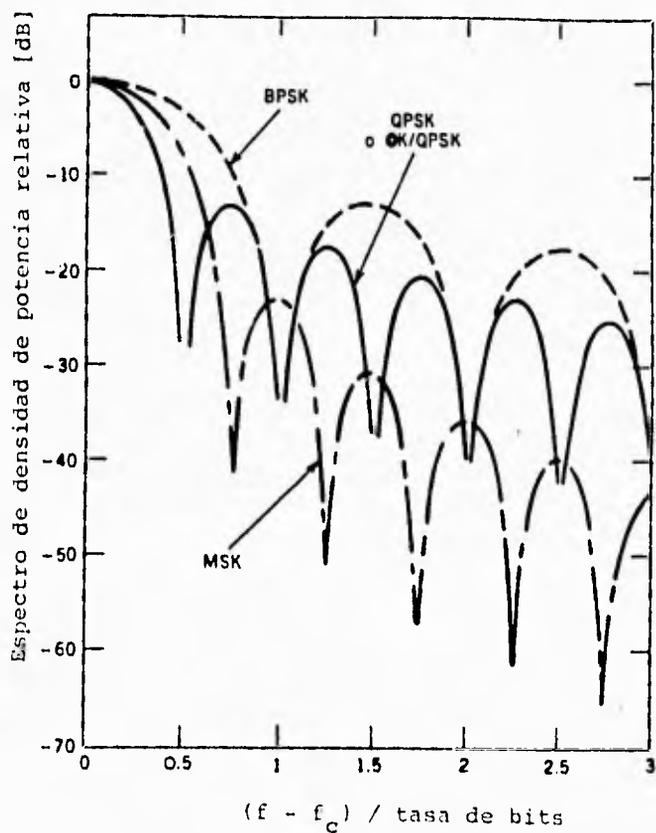


FIGURA 5.25 Densidades espectrales de frecuencia para señales BPSK, QPSK, u OK/QPSK y MSK no filtradas (f_c es la frecuencia de la portadora).

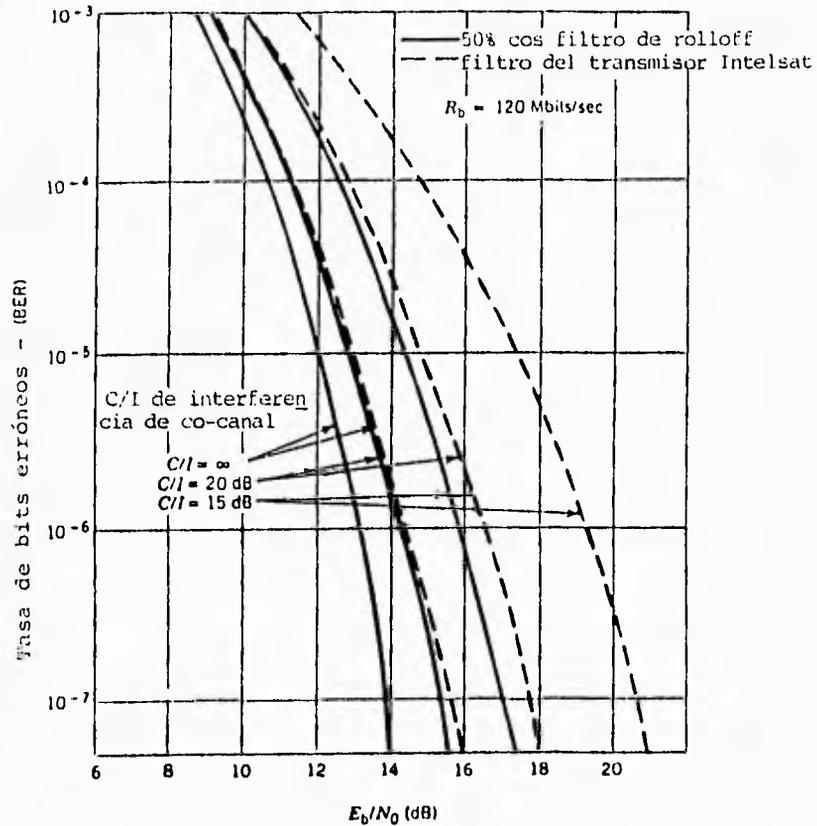


FIGURA 5.26 Porcentajes de error de TDMA para dos tipos de filtros.

En la figura 5.27. se puede observar que el porcentaje de bit de error es muy sensible al nivel de E_b/N_0 . Un pequeño decremento en la energía de la portadora por bit (E_b) o un incremento en la densidad de ruido (N_0) puede cambiar substancialmente al factor BER. Un cambio de 1 ó 2 dB puede resultar en la degradación de la magnitud del BER (como referencia, se sabe que con un cielo claro el BER es de 10^{-7}). El

desvanecimiento en la ruta debido a la precipitación es una fuente predominante de la degradación del BER, pero cualquier incremento en N_0 (debido a la interferencia, distorsión intersimbólica, etc.) es también muy dañino.

La pérdida del reloj de sincronía puede destruir la habilidad de encontrar bits en palabras únicas, etiquetas, y el canal de información hasta que la siguiente ráfaga o trama de sincronía suceda. En este caso la ráfaga se pierde.

Como hay un sólo espectro de rf que compartir, es importante que sólo una estación transmita a un tiempo. Si una estación pierde el tiempo de la trama y transmite al azar, bloqueará la transmisión, o transmisiones, de la estación o estaciones, asignada, y ninguno de los usuarios será satisfecho. Si el transmisor de la estación terrena no corta su portadora entre ráfagas (o si la potencia de rf se escapa a la antena), interferirá con otros usuarios sin intención obstruyendo el enlace ascendente. Si una de cada 100 estaciones terrenas se le escapa aunque sea una pequeña cantidad de potencia, la suma de ésta, así como la recibida por el satélite puede incrementar considerablemente en N_0 , lo que afectará a la relación de energía por bit entre la densidad de ruido: E_b/N_0 .

El tiempo de demora entre un satélite y la estación terrena es proporcional a la distancia entre ellos. El satélite geoestacionario puede estar en cualquier lugar alrededor de su situación nominal. Mientras una órbita que se sostiene a ± 15 km (fuera de los 42,165 km) puede pensarse que es casi estacionaria, el satélite en realidad se mueve substancialmente en un día, cerca de 10^8 veces el largo del propio volumen de un satélite típico. Esto será de particular interés si el satélite no usa el mantenimiento de estación norte-sur mientras que los valores serán substancialmente mayores que el mostrado en la figura 5.28.

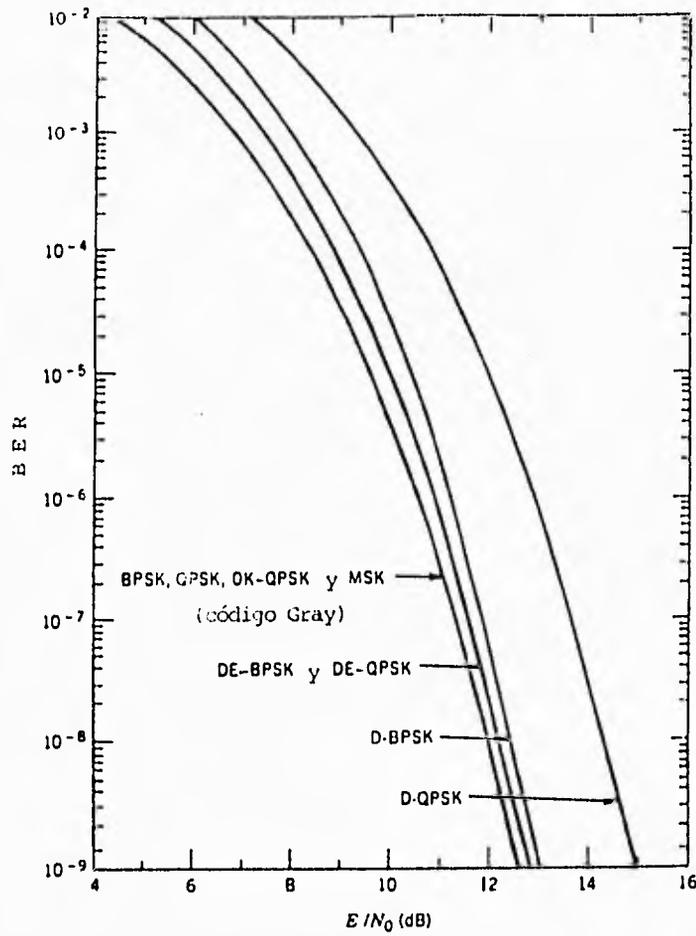


FIGURA 5.27 Desarrollo del porcentaje del bit de error ideal de varios esquemas de modulación digital. (E, energía por bit; N_0 densidad espectral de ruido de un lóbulo en watts por hertz; $E=E_b$ si no está codificado, $E=E_c$ si está codificado).

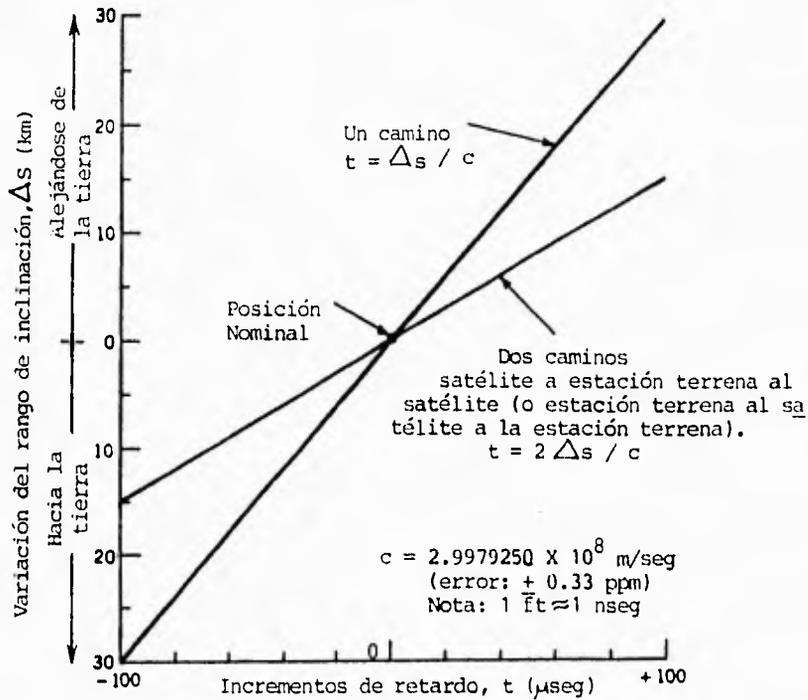


FIGURA 5.28 Propagación de tiempos indeterminados debidos al rango de variación satelital.

Si la estación terrena puede "ver" su propia ráfaga (repetida por el satélite), puede medirse el retardo de propagación y compensar su retraso en el tiempo de la ráfaga.

Para considerar la eficiencia de un sistema TDMA, el número de bits por trama se puede encontrar mediante la siguiente expresión:

$$b_{OH} = N_{RB} b_{RB} + N_{TB} b_{PATB} + (N_{TB} + N_{RB}) b_{GT}$$

donde

- N_{RB}** Es el número de referencia de ráfagas por trama (más de uno puede ser usado para redundancia)
- N_{TB}** Es el número de ráfagas de tráfico (ranuras) por trama
- b_{RB}** Es una cantidad alta de bits por ráfaga de referencia.
- b_{PATB}** Es una cantidad alta de bits por preámbulo en cada ranura.
- b_{GT}** Es el número de bits equivalentes en cada intervalo de tiempo de guarda

El número total de bits por trama es:

$$b_{TOT} = T_F R_{RF} \text{ [bits]}$$

donde

- T_F** Es el tiempo de la trama
- R_{RF}** Es el porcentaje de bits del canal de radio frecuencia.

La eficiencia de la trama, es decir, el porcentaje de bits por trama dedicados a la transmisión de datos, está dado por:

$$\eta = (1 - (b_{OH} / b_{TOT})) \times 100\%$$

Es deseable mantener una eficiencia por encima del 90%. El número de bits por canal de datos (usuario) por trama es:

$$b_{ch} = R_{ch} T_F$$

donde

- R_{ch}** Es el porcentaje de bit por cada canal.

Finalmente, el número de canales que puede ser acomodados por trama es de:

$$\begin{aligned}
 N_{ch/tr} &= (\text{total de bits de datos / trama}) / (\text{bits por canal / trama}) \\
 &= \eta R_{RF} T_F / (R_{ch} T_F) \\
 &= \eta R_{RF} / R_{ch}
 \end{aligned}$$

Para ejemplificar el uso de estas expresiones, consideremos un sistema TDMA con los siguientes parámetros:

$$N_{RB} = 1$$

$$N_{TB} = 10$$

$$b_{RB} = 1000 \text{ bits}$$

$$b_{PA} = 700 \text{ bits}$$

$$b_{GT} = 64 \text{ bits}$$

$$T_F = 5 \text{ miliseg}$$

$$R_{RF} = 45 \text{ Mbps}$$

$$R_{ch} = 64 \text{ kbps}$$

Tenemos que la cantidad alta de bits encontrada por trama es de:

$$b_{OH} = 1000 + 10(800) + (10 + 1)64 = 9704 \text{ bits}$$

El número total de bits por trama es de:

$$b_{TOT} = (5 \times 10^{-3})(45 \times 10^6) = 2.25 \times 10^5 \text{ bits}$$

Por lo tanto, la eficiencia es de:

$$\eta = \{ 1 - (9704 / 2.25 \times 10^5) \} \times 100 = 95.69 \%$$

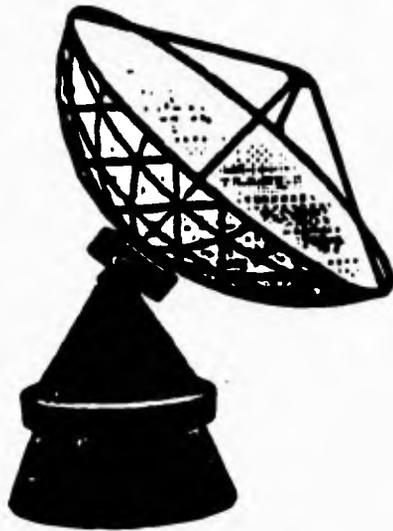
El número de canales por trama es:

$$N_{ch/tr} = 0.9569 (45 \times 10^6 / 64 \times 10^3) = 672.8$$

Como es imposible tener una fracción de canal, el número de canales por trama es realmente de 672. Si se tomara que hay 10 ranuras por trama, esto lo reduciría a 670 para 67 canales por ranura. Serán necesarias algunas iteraciones para lograr la eficiencia óptima para un cierto número de canales por ranura.

CAPITULO 6

ANALISIS, EVALUACION Y SELECCION DEL EQUIPO DE COMUNICACIONES PARA LA RED



6.1 CONSIDERACIONES DE INSTALACION.

En forma general se puede decir que una señal que ha sido generada o producida se requiere acondicionarla para que pueda ser radiada eficientemente a través del espacio hacia el satélite este acondicionamiento permite que se le pueda recuperar fielmente, esto es, con la mayor aproximación posible en la estación terrena receptora, aunque su nivel de potencia sea sumamente bajo al llegar.

El equipo de interfaces terrestres consiste de tres componentes básicos, racks que es un dispositivo en el cual van a ser ubicados los chasises, chasis, que es el dispositivo en el que se encuentran las unidades de canales para datos, y unidades de canal universales (UCU - **Universal Channel Units**), el cual constará a su vez de la unidad de canal de datos, y la unidad de canal de monitoreo.

Dentro del equipo externo se encuentran tres grandes componentes: antena, terminal de radio frecuencia (RFT) y conexiones de interfaz (IFL : **Interfacility Links**).

6.2 INSPECCION DEL SITIO PARA MONTAJE DE ESTACIONES TERRENAS.

Este aspecto es muy importante, ya que cualquier falla u omisión dentro de este proceso de revisión e instalación de la estación terrena tendrá sus consecuencias en la calidad de la operación, en la confiabilidad y disponibilidad de los enlaces. Es decir, el propósito de realizar dicha inspección es el de asegurar que existen las condiciones apropiadas para la instalación y operación exitosa de los equipos que forman la red.

La inspección de sitio está integrado por dos aspectos fundamentales: el estudio de interferencia y el levantamiento de campo.

6.2.1 Estudio de Interferencia.

En este primer aspecto se contempla la caracterización del espectro radioeléctrico en el entorno a la dirección de apuntamiento al satélite, a fin de ubicar las características de las fuentes potenciales de interferencia, dentro de la banda de frecuencias que se pretende asignar a las diversas portadoras de la red.

Deberá contener información suficiente respecto a:

- Polarización, azimut y elevación de señales dentro de la banda de frecuencias de recepción.
- Cada una de las fuentes de interferencia que se caracterizará en nivel de potencia (dBm) y de la frecuencia central.

La exploración se hará sobre los 360 grados del horizonte, y con una elevación comprendida entre los 0 y los 90 grados.

Los resultados asociados al estudio de interferencia son la base para analizar la factibilidad, lo que debe ser realizado antes de solicitar ante Telecomm la asignación de las frecuencias requeridas para implementar la red.

6.2.2 Levantamiento de campo.

En este punto se analizan las características físicas de las localidades propuestas para la instalación terrena, como sería la recolección y validación de la información

requerida para la ingeniería de detalle de la cimentación y de los procedimientos de montaje.

Además, el levantamiento de campo provee de la información necesaria para determinar las características de detalle del enrutado de cables de interconexión, suministro de energía e instalaciones accesorias, como por ejemplo el aire acondicionado.

Los aspectos específicos sobre los cuales se debe obtener información son:

* **Características de las fuentes de datos (computadoras, multiplexores, etc):**

- Ubicación de los equipos.
- Estándares de las interfaces de datos
- Características de conectores.

* **Características de la línea de vista:**

- Ubicación geográfica de las antenas.
- Distancia entre antenas.
- Perfil topográfico.
- Altura y posición de los obstáculos relevantes como edificios y árboles.

* **Localización de antenas y/o mástiles**

- Plano para especificación del proyecto de obra civil, incluyendo, dependiendo del caso, puntos para anclaje de retenidas y/o obras de cimentación.
- Características de la estructura o terreno donde se fijará la antena o mástil.

ANÁLISIS, EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DEL EQUIPO DE COMUNICACIONES PARA LA RED.

- Características de la herramienta y la maquinaria que se requiera para el montaje.

*** Ruta de cableado de datos y RF:**

- Longitud total del cable.
- Empalmes requeridos.
- Especificación de charolas, ductos y registros incluyendo datos para realizar el proyecto de obra civil.

*** Alimentación de energía:**

- Identificación de la acometida.
- Especificación de tableros de distribución.
- Trayectoria de cableado.
- Especificación de charolas ductos y registros, incluyendo datos para realizar proyecto de obra civil.

*** Sistemas de tierra:**

- Características de los sistemas de tierra existentes.
- Características del terreno en el caso de que se requiera diseñar una red de tierra.
- Características del aterrizado de los equipos ya instalados.
- Tipificación de los riesgos de descarga eléctrica en la zona de la instalación.

Como se observa, esta faceta incluye el diagnóstico de factibilidad para la realización física de la obra de montaje de la estación terrena, además de la relación detallada de

ANALISIS, EVALUACIÓN Y SELECCION DEL EQUIPO DE COMUNICACIONES PARA LA RED.

- Características de la herramienta y la maquinaria que se requiera para el montaje.

* Ruta de cableado de datos y RF:

- Longitud total del cable.
- Empalmes requeridos.
- Especificación de charolas, ductos y registros incluyendo datos para realizar el proyecto de obra civil.

* Alimentación de energía:

- Identificación de la acometida.
- Especificación de tableros de distribución.
- Trayectoria de cableado.
- Especificación de charolas ductos y registros, incluyendo datos para realizar proyecto de obra civil.

* Sistemas de tierra:

- Características de los sistemas de tierra existentes.
- Características del terreno en el caso de que se requiera diseñar una red de tierra.
- Características del aterrizado de los equipos ya instalados.
- Tipificación de los riesgos de descarga eléctrica en la zona de la instalación.

Como se observa, esta faceta incluye el diagnóstico de factibilidad para la realización física de la obra de montaje de la estación terrena, además de la relación detallada de

ANALISIS, EVALUACIÓN Y SELECCION DEL EQUIPO DE COMUNICACIONES PARA LA RED.

materiales y accesorios a emplear en la instalación de la estación terrena y equipo asociado.

A continuación se presentará una cotización.

ANALISIS, EVALUACIÓN Y SELECCION DEL EQUIPO DE COMUNICACIONES PARA LA RED.

RED SATELITAL.

Estación Maestra

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Importe USD
1. Antena de 2.4 m de diámetro para banda Ku con polarización cruzada y equipo RFT con redundancia que consta de: - Amplificador de alta potencia de 75 watts. - Amplificador de bajo nivel de ruido LNA. Con temperatura de ruido de 65 °K. - Conversor descendente de banda Ku. - Conversor ascendente de banda Ku.	1	140,000	140,000
2. Cable de FI	1	1,338	1,338
3. Unidad de canal para datos	1	8,675	8,675
4. Adaptador de rack	1	403	403
5. Chasis	1	2,733	2,733
6. Rack	1	3,309	3,309
7. Unidad de canal para control.	1	8,675	8,675
8. Unidad de control para monitoreo.	1	8,675	8,675
9. Programa de control de la red.	1	339,040	339,040
Subtotal Estación Maestra			512,848

ANALISIS, EVALUACIÓN Y SELECCION DEL EQUIPO DE COMUNICACIONES PARA LA RED.

RED SATELITAL.

Estaciones remotas.

Descripción	Cantidad	Precio	Importe
		Unitario	USD
Estaciones terminales remotas en banda Ku, que constan de:			
1. Antena parabólica de 1.8 m de diámetro x polarización	1	1,230	1,230
2. Amplificador de radiofrecuencia (ODU) de 5 Watts.	1	24,456	24,456
3. Cable IFL 2 x 100 m	1	935	935
4. Unidad de canal para datos	1	8,675	8,675
5. Chasis	1	2,733	2,733
6. Accesorios para TDMA.	1	101,971	101,971
			140,000
Subtotal			
Estaciones remotas	3	140,000	420,000

ANALISIS, EVALUACIÓN Y SELECCION DEL EQUIPO DE COMUNICACIONES PARA LA RED.

RED SATELITAL.

Instalación de la red.

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Importe USD
-------------	----------	-----------------	-------------

1. Instalación de la Estación Maestra	1	22,916	22,916
2. Instalación de antenas remotas.	3	4,550	13,650
3. Instalación del Sistema de Control de la Red (NCS - Network Control System)	1	21,970	21,970
4. Voladura de antenas	3	159	477
Subtotal Instalación			59,013

ANALISIS, EVALUACIÓN Y SELECCION DEL EQUIPO DE COMUNICACIONES PARA LA RED.

RED SATELITAL.

Obras Civiles.

Descripción	Cantidad	Precio	Importe
		Unitario	USD

1. Adecuación eléctrica / obra civil para antena maestra.	1	15,000	15,000
2. Inspecciones de sitio (Site Surveys).	1	1,200	1,200
3. Adecuación eléctrica / obra civil para antenas remotas.	3	5,467	16,401
4. Inspecciones de sitio	3	930	2,790
Subtotal Obras civiles			35,391

Nota:

La adecuación eléctrica consta de:

- Tierra física
- Canalización para corriente alterna, cable coaxial y monitoreo, corriente regulada, línea telefónica.

ANALISIS, EVALUACIÓN Y SELECCION DEL EQUIPO DE COMUNICACIONES PARA LA RED.

RED SATELITAL.

Resumen de la Red.

Descripción	Importe (USD)
1. Estación Maestra.	512, 848
2. Estaciones Remotas.	420, 000
3. Instalación	59, 013
4. Obras civiles.	35, 391
Total de la Red.	1' 027, 252

ANÁLISIS, EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DEL EQUIPO DE COMUNICACIONES PARA LA RED.

Como ya se había mencionado en capítulos anteriores, una estación maestra se compone básicamente por:

- * antena
- * equipo de radio frecuencia
- * equipo de rastreo y monitoreo
- * equipo banda base
- * transreceptor
- * controlador del sistema

Y una estación remota se encuentra formada por:

- * antena
- * equipo de radio frecuencia
- * equipo de redireccionamiento, como lo serían los multiplexores, PADs, rotary, modems.
- * enlaces dedicados o por red conmutada hacia la central telefónica.

De manera general podemos decir que una estación terrestre típica consiste de:

- * una unidad para el exterior (UPEE)
- * una unidad para el interior (UPEI)
- * una antena

La UPEE incluye un transmisor/receptor, un amplificador de poder rf (radio frecuencia) transistorizado, y un adaptador de alta/baja, y suministro de energía.

En tanto que la UPEI se compone de modem, un multiplexor, y un monitor y control (M y C).

6.3 CARACTERISTICAS DE EQUIPOS.

A continuación se presentan algunas de las características de diferentes marcas de equipo.

ANTENA DE ESTACION TERRENA.

MARCA VERTEX 2.4 - METROS.

MODELO 2.4 VSAT.

Precio: \$ 5,960.00 USD

Trabaja tanto en la banda C, como en la Ku. Al ser de nuestro interés la banda Ku, nos avocaremos a sus especificaciones para la mencionada banda.

Especificaciones:

- **Frecuencia de recepción: 11.7 - 12.2 GHz**

- **Frecuencia de transmisión: 14.0 - 14.5 GHz**

- **Ancho de radiación:**
 - 3 dB, recepción 0.68 °, transmisión 0.57 °
 - 15 dB, recepción 1.42 °, transmisión 1.19 °

ANALISIS, EVALUACIÓN Y SELECCION DEL EQUIPO DE COMUNICACIONES PARA LA RED.

- **Temperatura de ruido de la antena en la recepción en la banda media con dos puertos de alimentación a:**

5° de elevación, 58 °K

10° de elevación, 43 °K

20° de elevación, 36 °K

40° de elevación, 34 °K

- **Figura de mérito G/T a 20° de elevación, horizonte claro, 12 GHz, con 90°K LNA, dB/°K, en la recepción es de 26.6, y con 150 °K LNA, dB/°K en la recepción es de 25.0**

- **Aislamiento de puerto a puerto es de 35 dB, tanto en la recepción como en la transmisión.**

- **Aislamiento de la polarización cruzada en el eje es de 30 dB, tanto en la recepción como en la transmisión.**

- **Primer lóbulo lateral: -20 dB**

- **Temperatura de operación: -29 a 60 °C**

- **Soporta la salinidad y contaminantes que se encuentran en las áreas costeras e industriales, y lluvia en una cantidad de 10 cm por hora.**

ANTENA DE ESTACION TERRENA.

MARCA VERTEX 3.5 METROS

MODELO 3.5 KPC & KPK

Precio: \$ 23,100.00 USD

También puede utilizarse tanto para banda C como para banda Ku.

Especificaciones:

- Frecuencia de recepción: 11.7 - 12.2 GHz
- Frecuencia de transmisión: 14.0 - 14.5 GHz
- Ancho de radiación:
 - 3 dB, recepción 0.47 °, transmisión 0.39 °
 - 15 dB, recepción 0.98°, transmisión 0.82 °
- Temperatura de ruido de la antena en la recepción en la banda media con dos puertos de alimentación a:
 - 5° de elevación, 66 °K
 - 10° de elevación, 50 °K
 - 20° de elevación, 41 °K

40° de elevación, 36 °K

- Figura de mérito G/T a 20° de elevación, horizonte claro, 12 GHz, con 120°K LNA, dB/°K, en la recepción es de 28.6, y con 180 °K LNA, dB/°K en la recepción es de 27.3
- Aislamiento de puerto a puerto es de 30 dB, tanto en la recepción como en la transmisión.
- Aislamiento de la polarización cruzada en el eje es de 35 dB, tanto en la recepción como en la transmisión.
- Primer lóbulo lateral: -20 dB
- Temperatura de operación: -29 a 60 °C
- Soporta la salinidad y contaminantes que se encuentran en las áreas costeras e industriales, y lluvia en una cantidad de 10 cm por hora.

ANTENA DE ESTACION TERRENA.

ANTENA 1.8 METROS PARA BANDA Ku

MARCA PRODELIN.

SERIES 1181 - 1184

Precio: \$ 1,230.00 USD

Especificaciones:

- Frecuencia de operación de recepción: 10.95 - 12.75 GHz

- Frecuencia de operación de transmisión: 14.0 - 14.5 GHz

- Ganancia de banda media (± 0.2 dBi), en la recepción de 45.0 dBi, y en la transmisión de 46.5 dBi.

- Aislamiento de polarización cruzada: > 30 dB en el eje.

- Pérdida de inserción: 0.2 dBi máxima.

- Temperatura de ruido de la antena:
 - a 20 ° de elevación 38 °K
 - a 30 ° de elevación 35 °K

- Temperatura de operación: -40 a 60 °C

ANALISIS, EVALUACIÓN Y SELECCION DEL EQUIPO DE COMUNICACIONES PARA LA RED.

- Soporta la salinidad, la polución y los contaminantes que se encuentran en las áreas costeras e industriales, así como la lluvia en un rango de 1.3 cm /hr.

ANTENA DE ESTACION TERRENA.

ANTENA 2.4 METROS PARA BANDA Ku

MARCA PRODELIN.

SERIES 1245 - 1246

Precio: \$ 5,960.00 USD

Especificaciones:

- Frecuencia de operación de recepción: 10.95 - 12.75 GHz
- Frecuencia de operación de transmisión: 14.0 - 14.5 GHz
- Ganancia de banda media (± 0.2 dBi), en la recepción de 47.5 dBi, y en la transmisión de 49.2 dBi.
- Aislamiento de polarización cruzada: > 30 dB en el eje.
- Pérdida de inserción: 0.2 dBi máxima.
- Temperatura de ruido de la antena:

a 20 ° de elevación	32 °K
a 30 ° de elevación	28 °K
- Temperatura de operación -40 a 60 °C

ANALISIS, EVALUACIÓN Y SELECCION DEL EQUIPO DE COMUNICACIONES PARA LA RED.

- Soporta la salinidad, la polución y los contaminantes que se encuentran en las áreas costeras e industriales, así como la lluvia en un rango de 1.3 cm /hr.

	Antena 2.4 m Vertex	Antena 3.5 m Vertex	Antena 1.8 m Prodelin	Antena 2.4 m Prodelin
Precio (USD)	5, 960.00	23, 100.00	1, 230.00	5, 960.00
Trabaja en banda	C y Ku	C y Ku	Ku	Ku
Frecuencia de recepción	11.7 - 12.2 GHz	11.7 - 12.2 GHz	10.95 - 12.75 GHz	10.95 - 12.75 GHz
Frecuencia de transmisión	14 - 14.5 GHz	14 - 14.5 GHz	14 - 14.5 GHz	14 - 14.5 GHz
Ancho de radiación				
@ - 3 dB, recepción	0.68°	0.47°		
transmisión	0.57°	0.39°		
@ - 15 dB, recepción	1.42°	0.98°		
transmisión	1.19°	0.82°		
Temperatura de ruido				
a 5° de elevación	58 °K	66 °K		
a 10° de elevación	43 °K	50 °K		
a 20° de elevación	36 °K	41 °K	38 °K	32 °K
a 30° de elevación			35 °K	28 °K
a 40° de elevación	34 °K	36 °K		

TABLA 6.1 Especificaciones de diferentes antenas.

	Antena 2.4 m Vertex	Antena 3.5 m Vertex	Antena 1.8 m Prodelin	Antena 2.4 m Prodelin
Figura de mérito @ 20° de elevación, horizonte claro, 12 Ghz, * con 90°K LNA, dB/°K, en recepción	26.6			
* con 120°K LNA, dB/°K, en recepción		28.6		
* con 150°K LNA, dB/°K, en recepción	25.0			
* con 90°K LNA, dB/°K, en recepción		27.3		
Aislamiento de puerto a puerto	35 dB	30 dB		
Aislamiento de polarización cruzada en el eje	30 dB	35 dB	> 30 dB	> 30 dB
Primer lóbulo lateral	- 20 dB	- 20 dB		
Temperatura de operación	- 29 a 60 °C	- 29 a 60°C	- 40 a 60 °C	- 40 a 60 °C
Soporta la salinidad y contaminantes de las áreas costeras e industriales	Sí	Sí	Sí	Sí
Soporta lluvia en una cantidad de	10 cm / hr	10 cm / hr	1.3 cm / hr	1.3 cm / hr
Ganancia de banda media (± 0.2 dBi), en la recepción			45.0 dBi	47.5 dBi
en la transmisión			46.5 dBi	49.2 dBi
Pérdida de inserción máxima			0.2 dBi	0.2 dBi

TABLA 6.1 Especificaciones de diferentes antenas. (Continuación).

MODEM.

DATA MODEM MARCA CODEX V.32

SERIES 2264

Precio: \$ 7,700.00 USD

Características:

- Operación full duplex a 9600, 4800, 2400 y 1200 bps.
- Operación síncrona y asíncrona.
- Compatible con V.32 y V.22, también con V.22 y 212A de Bell.
- La tasa más alta de datos en negociación automática, esquema de modulación y protocolo de corrección de error en la conexión.
- Sistema de tasa adaptable (ARS - **Adaptive Rate System**), que adapta continuamente la tasa del modem para optimizar el desempeño mientras está en la línea.
- Soporte de conversión de velocidad arreglado para que la velocidad del DTE sea de 1200 bps a 19,200 bps que permite que la tasa de DTE se mantenga arreglado mientras que el modem adapta la velocidad para igualarla con la del modem remoto y/o la calidad de la línea bajo el control de ARS.

ANÁLISIS, EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DEL EQUIPO DE COMUNICACIONES PARA LA RED.

- Auto marcado "AT" estándar, que se acopla completamente con la norma V.25 bis de los comandos de sincronía y asincronía, con una llamada de monitoreo progresivo y nueve números telefónicos almacenados.
- Un botón en el panel de control para automarcado de un número previamente almacenado.
- Simulación de operación half duplex para operar con el equipo DTE síncrono, que requiere la señalización de circuito EIA half duplex.
- Panel de control enfrente con seis LEDs y pantalla de cristal líquido de 16 caracteres que permite la programación de la configuración del modem.
- Cuatro configuraciones definidas por el usuario, y cuatro de fábrica, almacenadas en memoria que minimiza el tiempo de set up.
- La configuración del modem permite el uso de un password para protección, y el panel de control puede ser deshabilitado para prevenir un acceso no autorizado.

Especificaciones.

- Operación: full duplex o half duplex
- Tasa de datos y modulación: dependiendo del modelo podemos encontrar que la tasa de datos es de 1200, 2400, 4800 y 9600 bps, con modulación QAM o PSK.
- Funcionamiento tanto síncrono como asíncrono. (Asíncrono: 19200, 9600, 4800, 2400, 1200 bps \pm 2.5% ; síncrono: 9600, 4800, 2400, 1200 bps \pm 0.01%).

ANALISIS, EVALUACIÓN Y SELECCION DEL EQUIPO DE COMUNICACIONES PARA LA RED.

- Corrección de error mediante MNP clase 1 a 4.
- Alimentación: 110 / 115 Volts AC ; 47-63 Hz, 35 watts máximo.
- Temperatura de operación: 0 a 40 °C.

MODEM

RACKMOUNTED MODEMS.

MARCA MULTITECH.

Precio: \$ 6,800.00 USD

Especificaciones técnicas:

- Capacidad: hasta de 16 modems.
- Alimentación: 110 - 120 Volts AC, 1.25 A con carga total en el rack.
- Salida de +5 DC regulados, 10 A máximo, +20 y -20 Volts no regulados con 1.6 A cada uno.
- Consumo de 150 watts máximo con carga total en el rack.
- Temperatura de operación de 0 a 50 °C.
- Velocidad de transmisión: 2400 / 1200 / 300 bps
- Formato de datos: síncrono en 2400 / 1200 bps, y asíncrono en 2400/1200/300 bps.
- Modo de operación: half duplex y full duplex en líneas privada y conmutadas.

ANÁLISIS, EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DEL EQUIPO DE COMUNICACIONES PARA LA RED.

- Estabilidad de frecuencia de $\pm 0.01\%$
- Sensibilidad de recepción: - 43 dBm bajo las peores condiciones.
- Nivel de transmisión: - 9 dBm en la mayoría de los modelos.
- Permite configuración remota por comandos AT.
- Tiene un buffer de comandos de 55 caracteres.
- Modulación: QAM (16 point Quadrature Amplitude Modulation) a 2400 bps, PSK (4 Level Phase Shift Keying) a 1200 bps, FSK (Frequency Shift Keying) a 300 bps.
- Compatibilidad con V.22, V.22 bis, V.21 del CCITT.
- Corrección de error por hardware MNP Clases 2,3,4, lo que garantiza que la información llegará libre de error al otro extremo.
- Conversión de velocidad: Permite fijar la velocidad del puerto en: 9600/4800/2400/1200/300 bps, independientemente de la velocidad a la que se conecte el modem, la cual dependerá del modem que le llame.
- Marcado y respuesta manual o automático. Con un convertidor híbrido se puede manejar en 2 y 4 hilos.

ANALISIS, EVALUACIÓN Y SELECCION DEL EQUIPO DE COMUNICACIONES PARA LA RED.

- Características inteligentes: marcado por pulsos o tonos, monitoreo del avance de la llamada, selección automática de paridad y velocidad, memoria no volátil, pantalla de ayuda, memoria para 10 números telefónicos.

MODEM.

ACTION RACK Y CONTROLADOR DE TARJETA MARCA DATA RACE.

Precio: \$ 7,200.00 USD

Los diversos modelos de ACTION son modems compatibles con la norma V.22 bis , que soportan compresión de datos MNP clase 5.

Entre sus principales características:

- Operación multimodo, es decir varias velocidades dependiendo de la norma utilizada, por ejemplo: V.22 bis - 2400 y 1200 bps, mientras que para V.21 - 300 bps.
- Operación en forma asíncrona full duplex.
- Conjunto de comandos extendidos AT
- Marcaje y respuesta automática.
- Velocidad en puerto de usuario hasta de 19200 bps.
- Ajuste automático de velocidad.
- Control de flujo EIA y XON/XOFF.

ANALISIS, EVALUACIÓN Y SELECCION DEL EQUIPO DE COMUNICACIONES PARA LA RED.

- Soporte de protocolos Hewlett-Packard y Data General.
- Almacenaje de 10 números telefónicos de hasta 64 dígitos.
- 16 perfiles de configuración almacenados.
- Reconocimiento MI-MIC.
- Protección de error MNP clase 2-4.
- Compresión de datos MNP clase 5 para hasta 4800 bps
- Configuración a través de los botones del panel frontal.
- Operación en forma síncrona full duplex.
- Marcaje y respuesta automática.
- Marcaje de número almacenado por medio de DTR o botón de DATA.
- Soporte asíncrono PC Comm por medio de Hayes AutoSync para protocolos BISYNC y SNA.
- Operación en línea privada a dos hilos, bajo la norma V.22 bis.

Otras características:

ANALISIS, EVALUACIÓN Y SELECCION DEL EQUIPO DE COMUNICACIONES PARA LA RED.

- Cumplimiento con los diagnósticos V.54 de CCITT.
- Capacidad de configuración remota.
- 8 LEDs indicadores.
- Bocina interna con control de volumen por medio de comandos.
- Gabinete de plástico de alto impacto.
- Interruptor de alimentación.
- Soporta la mezcla de hasta 16 tarjetas de modem con velocidades de 2400, 9600, 12000 y 14400 bps, con una sola tarjeta controladora.
- Alimentación: 115 Volts AC ó 230 Volts AC \pm 10%, máximo 275 watts.
- Formato de datos: síncrono y asíncrono.
- Temperatura de operación: 0 a 40 °C

MODEM.

TARJETA MODEM PARA ALOJAR EN GABINETE.

MARCA RSD 2200R

Precio: \$ 7,450.00 USD

Especificaciones:

- Opera de 1200 a 2400 en full duplex, degradable a 300 , 1200
- Nivel de recepción: -43 dB
- Compatible con las normas V.22, V.22 bis, V.21, V.42 bis de CCITT.
- Compresión de datos y corrección de errores MNP nivel 1 a 5.
- Configuración remota y local.
- Indicadores de LED.
- Interface RS232.
- Incluye 36 racks para 16 tarjetas.

MODEM.

**MODEM MARCA PENRIL ALLIANCE
MODELO V.32/14.4
VERSION RACK (PARA ALOJAR EN GABINETE).**

Precio: \$ 7, 900.00 USD

Especificaciones:

- Opera a 9600 bps, en full duplex y half duplex, degradable a 4800, 2400 , 1200 en formato síncrono / asíncrono y a 300 en formato síncrono únicamente.
- Compatible con las normas V.32, V.22 , V.22 bis, V.21, V.25, V.24, V.24 bis, V.23, y V.13 bis de CCITT.
- Compatible con automarcado Hayes y V.25
- Compresión de datos y corrección de errores MNP nivel 1 a 5 simulación de portadora y respaldo automático por línea conmutada con capacidad de transmisión de hasta 14,400 bps.
- Configuración remota y local.
- Operación con 2 y 4 hilos línea privada y conmutada.

ANALISIS, EVALUACIÓN Y SELECCION DEL EQUIPO DE COMUNICACIONES PARA LA RED.

- Indicadores de cristal líquido.
- Incluye 12 racks para 16 tarjetas cada uno .

MODEM.

MODEM DE MESA MODELO RSD2200M

Precio: \$ 1,250.00 USD

Especificaciones:

- Opera de 1200 a 2400 full duplex, degradable a 300, 1200 bps
- Nivel de recepción : -43 dB
- Compatible con las normas V.22, V.22 bis de CCITT.
- Compresión de datos y corrección de errores MNP nivel 1 a 5.
- Configuración remota y local.
- Indicadores de LED.
- Interface RS232.

MODEM.

MODEM MULTIMODO OSI 8396

Precio: \$ 7, 200.00 USD

Especificaciones:

- Compatibilidad con V.33, V32, V.32 bis , V.29, V.27bis, V.27 ter, V.26, V.26 bis, V.22, V.23, V.21 de CCITT, y Bell 2025 y 103.
- Opera en modo full duplex y half duplex.
- Corrección de error MNP nivel 4 a 5. Compresión de datos.
- Formato de datos de modo síncrono y asíncrono.
- Capacidad extendida AT
- Nivel de transmisión seleccionable de -1 dBm a -15 dBm en decrementos de 1 dB.

MODEM.

MODEM MULTIMODO OSI 8224B

Precio: \$ 7, 220.00

Especificaciones:

- Compatibilidad con V.22 bis, V.22 A/B, V.23, V.21, V.24, V.25 bis de CCITT
- Operación en modo full duplex y half duplex.
- Formato de datos síncrono y asíncrono.
- Corrección de error MNP clase 2 a 5
- Compresión de datos.
- Capacidad extendida AT.
- Opera con tonos o pulsos.
- Nivel de transmisión seleccionable de -1 dBm a -15 dBm en decrementos de 1 dBm.

MODEM Y FAX.

KEEPIN TOUCH CARD

PCMCIA (PERSONAL COMPUTER MEMORY CARD INTERNATIONAL ASSOCIATION) 14,400 bps

MODEM DE DATOS Y FAX.

Precio \$ 8,350.00 USD

Además de la transferencia de datos a alta velocidad, este versátil modem envía y recibe faxes, tanto en la red de telefonía estándar como en las líneas de comunicación celular ; intercambia textos e imágenes con máquinas de fax, incrementando la productividad mientras se reducen costos. Se basa en el software que desarrolló AT&T para sus modems.

Especificaciones:

- Modulación V.32 bis de CCITT, control de error CCITT V.42 MNP Clase 4-2, y compresión de datos V.42 bis MNP Clase 5, con un equipo terminal de datos (DTE) con tasas arriba de los 57 600 bps.
- Instala un programa que maximiza la compatibilidad con las Pcs que pertenecen a la PCMCIA.

- Cumple con la norma V.32 bis, con una velocidad de entrega en la línea de hasta 14,400 bps, lo que le permite una total compatibilidad con una amplia variedad de esquemas de modulación y funciones.
- Modulaciones: CCITT V.32 bis 14 400 bps, 12 000 bps, 9600 bps y 7200 bps con modulación Trellis-Coded (TCM); 4800 bps en QAM.
CCITT V.32 9600 bps TCM; 4800 bps QAM
CCITT V.22 bis 2400 bps QAM
CCITT V.22 1200 bps, DPSK (**Differential Phase-Shift Keyed**).
CCITT V.23 1200 bps, DPSK
AT&T 212A 1200 bps, DPSK
AT&T 103J 300 bps, asíncrono FSK
CCITT V.21 300 bps, asíncrono, FSK
- Automodo: V.32 bis, V.32, V.22 bis, V.22, AT&T 212A, AT&T 103J.
- Tasas de señalización de línea: 14 400, 12 000, 9600, 7200, 4800, 2400, 1200 bps, 0-300 bps.
- Interface a la red:
A la línea telefónica con un RJ11C de seis posiciones con DAA.
Soporta la conexión directa a varios teléfonos celulares.
- Formato de datos: serial, binario, asíncrono, protocolo Hayes AutoSync para transmisión síncrona.

ANALISIS, EVALUACIÓN Y SELECCION DEL EQUIPO DE COMUNICACIONES PARA LA RED.

- Flujo de control: RTS/CTS; XON/XOFF

- Nivel de transmisión:
 - Permisible: -10 ± 1 dBm.
 - Configurable: -10 a -25 dBm en decrementos de 1 dB.

- Marcado por pulsos o tonos.

- Modos de operación: marcado y respuesta tanto manual, como por control DTE con un comando AT.

- Consumo de potencia:
 - de operación: 950 mwatts
 - de stand-by: 15 mwatts
 - de idle: 475 mwatts
 - apagado: 0 mwatts

	Marca 1	Marca 2	Marca 3	Marca 4	Marca 5	Marca 6	Marca 7	Marca 8	Marca 9
Operación full y half duplex	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Formato de datos síncrono y asíncrono	*	*	*		*		*	*	*
Operación multimodo (i.e. varias velocidades, dependiendo de la norma utilizada)	*	*		*	*	*	*	*	*
Modulación QAM o PSK	*	y FSK							y DPSK FSK
Corrección de error mediante MNP	clase 1 a 4	clase 2,3,4	clase 2 a 4	clase 1 a 5	clase 1 a 5	clase 1 a 5	clase 4 a 5	clase 2 a 5	clase 2 a 5
Temperatura de operación de 0°C a	40°C	50°C	40°C						
Compatible con CCITT	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Alimentación 110/120 V AC	*	*	*	*	*	*	*	*	*

TABLA 6.2 Especificaciones de diferentes marcas de modems.

	Marca 1	Marca 2	Marca 3	Marca 4	Marca 5	Marca 6	Marca 7	Marca 8	Marca 9
Sensibilidad de recepción (dBm)	-43	-43	-43						
Nivel de transmisión (dBm)		-9				-1 a -15		-1 a -15	
permisible									
seleccionable en decrementos de 1 dBm								-10±1	
configurable en decrementos de 1 dBm									-10 a25
Permite configuración remota	*	*	*		*	*			
Marcado por pulsos o tonos	*	*						*	*

- Marca 1 Data modem Codex V.32 , series 2264
 Marca 2 Rackmounted Modems, marca Multitech
 Marca 3 Action Rack y controlador de tarjeta marca Data Race
 Marca 4 Tarjeta modem para alojar en gabinete, marca RSD 2200R
 Marca 5 Modem marca Pennill Alliance, modelo V.32 / 14.4, versión rack
 Marca 6 Modem de mesa, modelo RSD 2200M
 Marca 7 Modem Multimodo OSI 8396
 Marca 8 Modem Multimodo OSI 8224B
 Marca 9 Modem y Fax, marca Keepin Touch Card

TABLA 6.2 Especificaciones de diferentes marcas de modems.(Continuación).

ANALISIS, EVALUACIÓN Y SELECCION DEL EQUIPO DE COMUNICACIONES PARA LA RED.

MODEM.

CM 701 LOW SPEED MODEM.

COMSTREAM.

Precio: \$ 6, 530.00 USD

Especificaciones:

- Velocidad de datos: 9.6 a 256 kbps
- Resolución: 1 bps
- Tipo de modulación: QPSK y BPSK
- Frecuencia intermedia: 10 MHz / 18 MHz
- Interfaces de datos: RS-449 incluido, con la opción de otras tarjetas.
- Desempeño del modem: < 0.6 dB, teóricamente.

PAD.

MARCA EDA.

Precio: \$ 10, 250.00 USD

Especificaciones:

- Cuenta con 40 puertos síncronos.

- Velocidad de operación va desde 300 hasta 9600 bps

- Tiene la capacidad de manejar 5 puertos síncronos, es decir son los llamados puertos X.25

- Interface RS232

- Alimentación 115 Volts AC

- Compatible con las normas X.3, X.28 y X.29, es decir con CCITT.

SWITCHES
(PUERTOS SINCRONOS).

MARCA RAD.

Precio: \$ 4, 800.00 USD

Especificaciones:

- Compatible con las normas CCITT.
- Cuenta con 12 puertos X.25 o síncronos.
- Interface RS232
- Velocidad de operación desde 4800 hasta 9600 bps
- Alimentación 115 Volts AC

TRANSRECEPTOR.

**SATELLITE TRANCEIVERS. SSE.
ASAT S1214 BANDA Ku. S-LINE.**

Precio:

2 watts	\$ 19,100.00 dls
4 watts	24,750.00
8 watts	32,400.00

Especificaciones:

- Frecuencia intermedia de transmisión: 70 ± 18 MHz ó 140 ± 36 MHz
- Frecuencia intermedia de recepción: 70 ± 18 MHz ó 140 ± 36 MHz
- Nivel de rf a la entrada del receptor: -82 dBm máximo.
- Nivel de rf a la salida del receptor: + 7 dBm mínimo.
- Ganancia arreglada a la entrada del transmisor: - 30 dBm \pm 4 dB para potencia tasada.
- Variación de potencia sobre -40 a +60 °C en la salida del transmisor: \pm 2.0 dB ganancia arreglada.
- Armónicas en la salida del transmisor : -60 dBc máximo
- Ganancia en el receptor @ + 25 °C: 85 dB mínimo

ANALISIS, EVALUACIÓN Y SELECCION DEL EQUIPO DE COMUNICACIONES PARA LA RED.

- Estabilidad de ganancia en el receptor: (-40 a +60 °C): ± 4.0 dB máximo.
- Ancho de banda (1dB): en el sistema de 70 MHz es de 36 MHz, y en el sistema de 140 MHz es de 72 MHz
- Requerimientos de alimentación: 115 Volts AC / 50-60 Hz, 230 Volts AC / 50-60 Hz, ó -48 Volts DC
- Consumo total de potencia:

2 watt	120 VA
4 watt	150 VA
8 watt	260 VA
16 watt	360 VA
- Temperatura de operación: -40 a +60 °C
- Temperatura de almacenamiento: -50 a +70 °C

6.4 CONSIDERACIONES RESPECTO AL EQUIPO PARA TDMA.

Respecto al equipo TDMA recomendable para trabajar en este caso es el conocido como TDMA puro de marca SPAR. En este tipo de sistema, el TDMA "ve" a todas las estaciones iguales, y maneja una sola portadora para todas, siendo la portadora más chica de 128 kbps.

Precio: \$ 140,000.00 USD cada estación.

6.4.1 Descripción técnica del equipo SPAR de TDMA puro.

La terminal CT-2000-002 de TDMA es una unidad principal del sistema CT-2000 TDMA de COMTEL, que opera a una velocidad de 60.416 Mbps. La terminal TDMA físicamente consiste de 3 montajes principales; el chasis del equipo común, el chasis del grupo de interfaces de la tarjetas (GIB - **Group Interface Board**), y la consola de operación local. Para una operación redundante la terminal requiere de un chasis de equipo común dual. Los montajes opcionales pueden ser adicionados para soportar servicios especiales, como lo sería la Corrección de error FEC, encriptamiento de datos, etc.

6.4.2 Equipo complementario.

La terminal CT-2000-002 de TDMA incluye el siguiente equipo:

- Chasis de equipo común con fuente de poder.
- Chasis GIB y fuentes de poder.
- Conectores de la tarjeta.
- Consola de operación local.

6.4.2.1 Chasis.

CHASIS DEL EQUIPO COMUN. El chasis del equipo común (CT-2000-002 de TDMA, parte No. 35241) consiste de un recinto mecánico, un plano posterior, un cable coaxial asociado. El montaje del plano posterior sirve como el plano posterior y provee las interconexiones para los conectores de las tarjetas. Dicho plano también provee conectores para las conexiones de la fuente de poder, consola de operación, equipo de rf, y equipo del cliente.

Equipo común	Cantidad Redundante	Cantidad No Redundante
Tarjeta de modulación	1	2
Tarjeta demoduladora	1	2
Tarjeta de receptor de FI	1	2
Controlador de TDMA:		
* Controlador integrado/Tarjeta CPU (ICC) o	1	2
* Tarjeta de control y	1	2
Tarjeta controladora de CPU	1	2
Tarjeta lógica del modem	1	2
Tarjeta de ráfaga del FEC	1	2
Tarjetas del grupo de interfaces	1 - 31	No aplica

La ráfaga del FEC es una tarjeta hija que se monta en la tarjeta lógica del modem.

6.4.2.2. Tarjeta única de control de TDMA.

El controlador de TDMA provee el control para todas las operaciones de la terminal CT-2000-002 de TDMA.

Esta tarjeta está designada en la tarjeta del CPU (ICC)/ controlador integrado. Un enchufe adicional en el CPU provee un bypass para los conectores en una ranura no utilizada en el chasis de TDMA asignada para las dos tarjetas de control.

6.4.2.3 Tarjeta de control del CPU.

La tarjeta controladora del CPU incluye un microprocesador Z80, interfaces de entrada/salida, PROMs asociadas, RAMs, etc., que soportan los procesadores. La tarjeta controladora de CPU también contiene las tarjetas de control de RAM; lógica de contención para el procesador, circuitos del canal de señalización común (CSC-Common Signaling Channel), circuitos de medición del offset de fase.

6.4.2.4 Tarjeta lógica de modem.

Contiene circuitos integrados digitales que proveen la interface entre las tarjetas de control/ tarjetas del grupo de interfaces y el modem. La tarjeta lógica del modem provee una conexión de entrada para la señal de 120.832 MHz del cristal oscilador y tiene los circuitos necesarios para bajar la señal de reloj que dará las variadas frecuencias de reloj requeridas dentro de la terminal TDMA.

6.4.2.5 Tarjeta moduladora.

El enchufe en este módulo contiene todos los circuitos necesarios para la parte moduladora del modem de QPSK. La principal función de éste es transformar en el flujo de datos la P en Q recibidas de un modem lógico en modulación de fase a una portadora de 70 MHz.

6.4.2.6 Tarjetas de grupos de interfaces.

Cada GIB contiene dos grupos principales de circuitos: interface de control interno TDMA e interface del cliente. Los circuitos que proveen la interface de control interno tiene una función común para todos los GIBs. Las diferencias primarias entre los diferentes tipos de GIBs son los circuitos de la interface del cliente, la cual es única para cada interface particular.

6.4.2.7 Consola de operación local.

Es una computadora IBM/AT compatible (AST premium/286 o equivalente). Incluido con la computadora como una parte de la Consola de Operación Local (LOC) están el teclado, el display de color, y el floppy/ disco duro.

6.4.3 Especificaciones del sistema.

Velocidad de bit:

- * estándar: 60.416 Mbps
- * opcional: 15.104 ó R ò 60.416 Mbps

Tiempo variable de la super trama:

$$\text{* variable } \tau_s = (n+1) \tau$$

donde

n número de terminales de TDMA en la red

τ tiempo de trama

Tiempo de trama

estándar $\tau = 15$ mseg (norma americana)

opcional $\tau = 10$ mseg (norma europea)

$$6 \leq \tau \leq 15$$

Ráfaga por trama: hasta de 500

Longitud de ráfaga: Dinámica, cualquier localidad en la trama, múltiplos de 1 byte.

Longitud de preámbulo:

Bit de tiempo y recuperación de la portadora: 32 bytes

Palabra única: 3 bytes (2 bytes de información y 1 byte nulo).

Tiempo de guarda: 8 bytes.

Condiciones de espectro:

Longitud 32 767 bits en secuencia pseudo random

Proceso módulo 2 adicionado.

Reset Punto común de reset.

6.4.4 Modulador.

Tipo de modulación:

QPSK diferencialmente codificado coherente.

Frecuencia central de portadora de Frecuencia Intermedia (IF):

70.0 MHz \pm 140 Hz

Nivel de portadora de FI:

-23 dBm \pm 6 dBm ajustable

Nivel de estabilidad de la portadora de FI:

\pm 0.3 dB en 24 horas

Pérdida de retorno:

> 20 dB, 50 - 90 Hz

Impedancia de salida:

50 Ohms desbalanceados.

Conector de FI:

BNC Hembra

Resolución de ambigüedad de fase:

Código diferencial.

Filtrado de canal:

Igual a 40% de coseno.

6.4.5 Dimensiones y pesos.

	Longitud	Ancho	Profundidad	Peso
	[mm]	[mm]	[mm]	[kg]
Chasis de equipo común	311.2	482.6	470.0	8.2
Chasis de GIBs	311.2	482.6	470.0	3.9
Fuente de poder de 5V de GIB	133.4	482.6	1381.0	9.07

ANÁLISIS, EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DEL EQUIPO DE COMUNICACIONES PARA LA RED.

Consola de operación local:

* Versión compatible IBM/AT

	Computadora	Monitor	Teclado	Impresora
Longitud [mm]	159.0	310.0	38.0	141.0
Ancho [mm]	489.0	358.0	489.0	418.0
Profundidad [mm]	419.0	360.0	210.0	339.0
Peso [kg]	14.0	15.5	2.7	5.8

* Versión HP

	Unidad del Sistema del Procesador	Monitor	Impresora	Unidad del Disco
Longitud [mm]	127.0	348.0	89.0	104.0
Ancho [mm]	325.0	340.0	292.0	325.0
Profundidad [mm]	376.0	343.0	216.0	292.0
Peso [kg]	10.0	10.0	2.5	9.0

6.4.6 Fuentes de voltajes.

6.4.6.1 Fuente de poder del equipo común.

Voltaje de entrada:	105-125 V ac ó 198-265 V ac
Corriente ac:	7 A máximo a 115 V ac, 37 A máximo a 230 V ac
Frecuencia de línea:	47 - 63 Hz
Brown Out:	90 V ac @ 115 V ac 180 V ac @ 230 V ac

Máxima disipación
de carga dc: 219 watts
Máxima disipación
del módulo de potencia: 77 watts
Máxima potencia ac
requerida: 296 VA

6.4.6.2 Módulo de fuente de poder del chasis de GIB.

Voltaje de entrada: 105-125 V ac ó 198-265 V ac
Corriente ac: 2.45 A máximo a 115 V ac,
1.28 A máximo a 230 V ac
Frecuencia de línea: 47 - 63 Hz
Brown Out: 90 V ac @ 115 V ac
180 V ac @ 230 V ac
Máxima disipación de
carga dc: 87 watts
Máxima disipación del
módulo de potencia: 21 watts
Máxima potencia ac
requerida: 108 VA

6.4.6.3 Montaje de la fuente de poder de 5 V de GIB.

Voltaje de entrada: 105-125 V ac ó 198-265 V ac
Corriente ac: 7.5 A máximo a 115 V ac,
4.04 A máximo a 230 V ac

ANÁLISIS, EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DEL EQUIPO DE COMUNICACIONES PARA LA RED.

Frecuencia de línea: 47 - 63 Hz
Brown Out: 90 V ac @ 115 V ac
180 V ac @ 230 V ac

Máxima disipación de
carga dc: 519 watts

Máxima disipación del
módulo de potencia: 173 watts

Máxima potencia ac
requerida: 692 VA

6.4.7 Consola de operación local.

*** Versión compatible IBM/AT**

Computadora, teclado y monitor:

115 V ac @ 60 Hz, 230 V ac @ 50 Hz, 192 watts

Impresora:

(115 V ac) 120 V ac \pm 10%, 28 watts

*** Versión HP**

Unidad del sistema de proceso (modelo 310)	250 W máx
Monitor (modelo 35731 B)	45 W máx
Unidad de disco (modelo 9153 A)	100 W máx
Impresora (modelo 2225 A)	17 VA máx

6.4.8 Condiciones de ambiente:

De operación:

Temperatura: 10 a 40° C

Humedad relativa: 10 a 90% RH no condensada

De almacenamiento:

Temperatura: -20 a 60° C

Humedad relativa: 10 a 90% RH no condensada

6.5 Equipo por región.

En un capítulo anterior se realizó detalladamente el cálculo por región del número de modems, de racks, rotarys, PADs y puertos asíncronos; así, tomando el resultado obtenido tenemos.

REGION	#MODEM	#RACK	#LDT	#ROTARY	#PAD	#P.ASIN.
1	80	5	80	5	6	240
2	48	3	48	3	5	173
3	32	2	32	2	3	108
TOTAL	160	10	160	10	14	521

Se escogió la marca Codex para los modems, PADs marca EDA, y puertos síncronos o switches marca RAD, debido a que las características que ofrecen al usuario son las requeridas para un buen funcionamiento de la red. Por lo tanto, el costo por región será:

ANALISIS, EVALUACIÓN Y SELECCION DEL EQUIPO DE COMUNICACIONES PARA LA RED.

REGION 1.

80 modems * 7,700.00 = 616, 000.00
6 PADs * 10,250.00 = 61, 500.00
5 rotarys* 3,000.00 = 15, 000.00
1 switch* 4,800.00 = 4, 800.00 (o puerto sincrono)

697, 300.00

REGION 2.

48 modems * 7,700.00 = 369, 600.00
5 PADs * 10,250.00 = 51, 250.00
3 rotarys* 3,000.00 = 9, 000.00
1 switch * 4,800.00 = 4, 800.00

434, 650.00

REGION 3.

32 modems * 7,700.00 = 246, 400.00
3 PADs * 10,250.00 = 30, 750.00
2 rotarys* 3,000.00 = 6, 000.00
1 switch * 4,800.00 = 4, 800.00

287, 950.00

Con respecto a las líneas telefónicas tenemos que

ANALISIS, EVALUACIÓN Y SELECCION DEL EQUIPO DE COMUNICACIONES PARA LA RED.

REGION 1:

160 enlaces dedicados - (8 enlaces síncronos) = 152

475 por red conmutada

—
635 enlaces

REGION 2:

125 enlaces dedicados - (6 enlaces síncronos) = 119

290 por red conmutada

—
415 enlaces

REGION 3:

76 enlaces dedicados - (4 enlaces síncronos) = 72

176 por red conmutada

—
252 enlaces

6.6 COTIZACION RESPECTO A TELECOMM.

A continuación se presenta la lista de precios que Telecomm cobra por sus servicios.

TARIFA 0016

Servicio de señales digitales, por el sistema de Satélites Mexicanos.

I. Servicio permanente para canales digitales con velocidades de información agregada del usuario:

ANÁLISIS, EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DEL EQUIPO DE COMUNICACIONES PARA LA RED.

A) Segmento espacial en banda Ku, por canal, con velocidad de información agregada, en kilobits por segundo, mensualmente:

Velocidad (kbps) Hasta	Potencia asignada (dBw) Hasta	Solidaridad Región 4 y 5
32.0	13.39	350.00
64.0	16.40	700.00
128.0	19.41	1,400.00
256.0	22.42	2,811.00
384.0	24.22	4,234.00
512.0	25.45	5,622.00
768.0	27.28	8,574.00
1,544.0	30.51	18,052.00
2,048.0	31.26	21,437.00
3,200.0	33.30	34,300.00
4,096.0	33.76	38,110.00

ANALISIS, EVALUACIÓN Y SELECCION DEL EQUIPO DE COMUNICACIONES PARA LA RED.

B) Segmento terrestre.

En cada estación terrena transreceptora, propiedad de Telecomm, por circuito, para velocidad de información en kilobits por segundo, tanto para banda C, como para Ku.

Velocidad de información agregada (kbps) hasta	Cuota mensual U.S.D.
9.6	90.00
19.2	130.00
32.0	170.00
64.0	215.00
128.0	430.00
256.0	650.00
384.0	755.00
512.0	865.00
768.0	1,080.00
4,096.0	1,715.00

II. Potencia adicional.

A) Para el caso en que se requiera potencia en dBw mayor a la establecida en la fracción I, dichas cuotas se multiplicarán por el factor que corresponda a la siguiente tabla:

Potencia adicional (dBw)	Factor
1	0.26
2	0.59
3	1.00
4	1.52
5	2.18
6	3.00
7	4.04
8	5.36
9	7.00
10	9.00
20	99.00

Los incrementos de potencia con valores fraccionarios, estarán sujetos al factor que resulte de interpolar entre valores enteros.

III. Reglas de aplicación.

A) La tarifa de la fracción I corresponde a las modalidades de acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA) y acceso múltiple por división de tiempo (TDMA), sin espectro ensanchado y/o extendido es decir, para portadoras con ancho de banda o espaciamientos normalizados.

B) Para portadoras que operen en la modulación BPSK, con una velocidad de 19.2 kbps se aplicará una sobretasa del 50% a las cuotas del segmento espacial. Para velocidades de 32 kbps hasta 1544 kbps se aplicará una sobretasa del 100% de las cuotas de dicho segmento. Asimismo, para velocidades de 2048 kbps, 3200 kbps y 4096 kbps se aplicará una sobretasa del 116.7%, 117.4% y 109.7% respectivamente.

En el caso de portadoras con modulaciones diferentes, éstas tendrán un factor correspondiente a la proporción de ancho de banda que ocupan respecto a la modulación QPSK.

C) Las tarifas de la fracción I corresponden a las relaciones para corrección de error (FEC) de 1/2.

D) El segmento espacial que se asigne a los usuarios se facturará desde la fecha de su asignación con base al número de portadoras equivalente de 64 kbps, con modulación QPSK que se puedan alojar en dicho segmento. Asimismo, la cuenta a pagar deberá contener el desglose completo por canal contratado.

E) El método de facturación se calculará de la siguiente manera:

$$\text{Fac} = (\text{CB} * \text{MOD} * \text{FEC}) + (\text{CB} * \text{DBWA})$$

donde:

Fac es la cuenta total a pagar por portadora.

CB es la cuota básica por velocidad de información establecida en la tarifa, de acuerdo al tipo de banda o satélite elegidos.

MOD es el factor de modulación que se aplicará de acuerdo a lo establecido en el inciso B de las reglas de aplicación, en relación al tipo de modulación que usará el usuario en sus enlaces.

ANALISIS, EVALUACIÓN Y SELECCION DEL EQUIPO DE COMUNICACIONES PARA LA RED.

FEC es el factor que se aplicará de acuerdo al factor señalado en el inciso C de las reglas de aplicación, que los usuarios utilicen en sus portadoras.

DBWA es el factor que deberá aplicarse cuando los usuarios consuman potencia adicional en dBw a los establecidos en la fracción I.

La cuenta a pagar deberá contener el desglose completo por canal contratado.

F) Las cuotas señaladas en esta tarifa corresponden al **SERVICIO NO INTERRUPTIBLE**, es decir, que contarán con respaldo en el mismo satélite.

Dadas las tablas de datos con los que contamos, sabemos que el costo de lo que se nos facturará es de:

CB = 700.00

MOD = 1

FEC = 1

CB = 215.00

DBWA = 1

De aquí que:

Fac = (700.00 * 1 * 1) + (215 * 1)

Fac = 915.00 USD por portadora

Al utilizar sólo una portadora, la cuenta a pagar es el valor encontrado.

Es importante señalar también que para realizar el enlace hacia Estados Unidos a la ciudad de Atlanta, se deben tramitar dos permisos, uno ante la Secretaría de

ANALISIS, EVALUACIÓN Y SELECCION DEL EQUIPO DE COMUNICACIONES PARA LA RED.

Comunicaciones y Transportes, SCT, y el otro ante FCC. Con respecto al primero, se deben hacer dos pagos por el concepto de:

- Estudio técnico de la solicitud: N\$ 1, 580.00
- Otorgamiento de permiso: N\$ 3, 160.00

TOTAL N\$ 4, 740.00

No debe perderse de vista que estos precios son válidos hasta junio de 1995, ya que en dicha fecha sufrirán un incremento.

6.7 Cotización de RDI.

Para poder hacer uso de la Red Digital Integrada, se debe contratar con Telmex, quien vende el E0 (canal de 64 kbs).

Dicho contrato consta de dos pagos:

- Pago por contrato, que ncluy el E0 local en el Distrito Federal con un costo de:

\$ 46, 105.00

6, 700.00 USD

- Pago por servicio, el cual se realiza de forma mensual, siendo el costo de éste para las ciudades que nos interesan de:

Entre México, D.F. y Monterrey :

N\$ 4, 417.00

643.00 USD

ANÁLISIS, EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DEL EQUIPO DE COMUNICACIONES PARA LA RED.

Entre México, D.F. y Guadalajara:

N\$ 3,842.00

559.00 USD

Entre Guadalajara y Monterrey:

N\$ 3,882.00

565.00 USD

Para el enlace con Estados Unidos, debemos llevar la señal hacia una ciudad fronteriza, siendo en nuestro caso la ciudad de Monterrey la que se eligió, tenemos entonces que el costo por dicho enlace es de:

N\$ 7,412.00

1,078.00 USD

Con respecto al pago mensual que se realizará debido al uso de RDI, tenemos que la suma de los enlaces que se efectuarán es de:

643.00	enlace entre México y Monterrey
559.00	enlace entre México y Guadalajara
565.00	enlace entre Monterrey y Guadalajara
1,078.00	enlace entre Monterrey y Estados Unidos
<hr/>	
2,845.00	USD mensuales

El primer pago sería de:

2,845.00	por concepto de enlaces
6,700.00	por concepto de contrato
<hr/>	
9,545.00	USD

6.8 Costos finales.

Resumiendo costos tenemos:

ESTACION MAESTRA	USD	ESTACION REMOTA	USD
Antena	5,960.00	Antena	1,230.00
Con equipo para TDMA, con monitoreo	347,717.00	Con equipo para TDMA	138,770.00
Equipo accesorio	159,171.00	Gastos de instalación	4,550.00
Gastos de instalación	22,916.00	Obra civil	5,467.00
Obra civil	15,000.00	Inspección de sitio	930.00
Inspección de sitio	15,000.00	Voladura de antenas	159.00
Instalación sistema de control de la red	21,970.00	Total (1 estación)	151,106.00
		Total (3 estaciones)	453,318.00
Total	587,734.00	Equipo región 1 (PADs, modems, rotarys, etc)	697,300.00
		Equipo región 2	434,650.00
		Equipo región 3	287,950.00
		Total	1' 873,218.00

6.8.1 Costo inicial.

Estación maestra	587,734.00
Estaciones remotas	453,318.00
Equipo para las diferentes regiones	1'419,900.00
Pago a SCT por permiso	690.00
Pago RDI por contrato	6,700.00
Total	2'468,342.00 USD

6.8.2. Costo mensual

A SCT por renta del satélite	915.00
Por los enlaces RDI	2,845.00
Total	3,760.00 USD

6.9 Selección del Equipo

El equipo que se eligió debido a que sus características eran las que más convenían para lo que se requiere fue:

Antena de estación terrena como antena maestra:

Marca Vertex 2.4 metros, modelo 2.4 VSat.

Antenas de estación terrena como antenas remotas:

Marca Prodelin, antena 1.8 m para banda Ku, series 1181-1184

Modems para las agencias de viajes:

Marca Codex V.32, serie 2264

Modem de alta velocidad:

Marca Comstream, modelo CM 701

PAD:

Marca EDA.

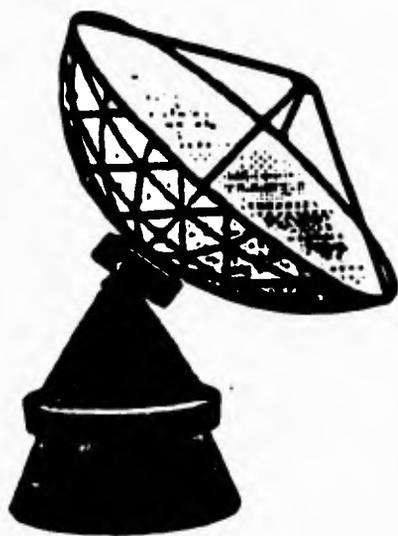
Switches (Puertos sincronos):

Marca RAD.

Transreceptor:

Marca SSE ASAT, modelo S1214, para banda Ku, S-line de 2 watts.

CONCLUSIONES



CONCLUSIONES

Debido a que el diseño de la red se realizó con base en los requerimientos expresados por los dueños del sistema de tele-reservaciones, podemos decir que se lograron cumplir satisfactoriamente con todos los objetivos por ellos expresados, es decir, que fueron cubiertas sus necesidades de conexión de las Agencias de Viajes con el sistema de manera rápida, eficiente y confiable.

Con respecto al medio de transmisión, podemos comentar que la elección del mismo se basó en que el satélite presenta ventajas favorables para los objetivos que se persiguen, ya que con éste se puede diseñar la red en forma completamente privada, esto es, no se depende de otros organismos como lo sería Teléfonos de México para llevarla a cabo, además, los satélites tienen la capacidad de cubrir zonas geográficamente inaccesibles, y aún podemos añadir la característica de su confiabilidad.

El hecho de contar con un enlace de respaldo, que en este caso sería la Red Digital Integrada (RDI), nos proporciona un sistema redundante, lo que beneficia de manera directa al usuario, porque evita largos periodos de tiempo sin comunicación, en caso de existir alguna falla en el enlace satelital, lo que repercute en la eficiencia del sistema.

El tipo de acceso al satélite que se eligió fue el TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo), ya que sus principales características representaban una ventaja para nuestro sistema, siendo éstas el hecho de que hacen flexible al sistema, los accesos pueden ser reconfigurados por carga de tráfico en tiempo real, no hay potencia

compartida y se tienen menos problemas de intermodulación con respecto a otras técnicas de acceso.

Se determina el uso de la banda Ku en lugar de la banda C básicamente por dos causas, siendo la primera que nos ofrece una cobertura lo suficientemente amplia como para cubrir la zona geográfica en que se encuentran los sitios de nuestro interés para el enlace, y por otro lado, el equipo que se requiere es de un costo menor.

Al encontrarse el satélite Morelos II al final de su vida útil, está enfocado a servicios de baja prioridad, motivo por el cual se seleccionó la utilización del satélite Solidaridad I, el cual empezó recientemente su operación.

En el diseño de la nueva red se contemplan varias propuestas de enlaces de última milla para que las Agencias de Viajes puedan acceder a la red de la manera que más se adecúe a sus necesidades, brindando con ello la posibilidad de un mejor servicio.

A lo largo del presente trabajo se hizo patente la importancia que tiene para las Agencias de Viajes el poder conseguir un enlace con un sistema de tele-reservaciones, en este caso el conocido con el nombre de Worldspan, de manera eficiente, rápida y confiable.

Gracias a la nueva red diseñada, las Agencias de Viajes se ven beneficiadas enormemente, elevándose la calidad de los servicios en el sector turístico, que al ser de vital importancia en la economía de las naciones, trae a su vez una ganancia para el país que promueve el turismo en cualquiera de sus tipos.

BIBLIOGRAFIA



BIBLIOGRAFIA

• **BUSINESS DATA COMMUNICATIONS.**

Stamper, David A.

Ed. Benjamin Cummings. 3a. edición. Estados Unidos. 1991.

• **COMUNICACIONES**

Interfaces, modems, protocolos, redes y normas

José M. Huidobro

Ed. Paraninfo, Madrid. 1990.

• **COMUNICACIONES Y REDES DE PROCESAMIENTO DE DATOS**

González Sainz

Ed. McGraw Hill, Colombia, 1990

• **COMMUNICATIONS SATELLITE HANDBOOK**

Morgan, Walter L. ; Gordon, Gary D.

John Wiley & Sons. Estados Unidos. 1989.

• **DIGITAL TRANSMISSION OF INFORMATION.**

Blahut, Richard E.

• **ELECTRONIC COMMUNICATION SYSTEMS.**

Kennedy, George.

Ed. McGraw - Hill. 3era. edición. Singapur. 1985.

- **ENCICLOPEDIA UNIVERSAL SOPENA.**
Editorial Ramón Sopena, S.A. España. 1982.
- **FDDI.**
Technology and applications.
Mirchandani, Sonu ; Khanna, Raman
John Wiley & Sons, Inc. Estados Unidos. 1993.
- **HISTORIA DE LA ASOCIACION MEXICANA DE AGENCIAS DE VIAJES.**
AMAV - Asociación Mexicana de Agencias de Viajes.
Entrevistas realizadas por Malú Martínez Sotomayor.
Ediciones Gernika. México. 1988.
- **INGENIERIA DE SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES**
Diseño de redes digitales y analógicas
Freeman L. Roger,
Ed. Limusa, México, 1991
- **INTRODUCCION A LAS REDES DIGITALES DE SERVICIOS.**
Manual.
Escuela Nacional de Telecomunicaciones.
México. Febrero de 1993.
- **INTRODUCCION A LA TEORIA Y TECNICA DEL TURISMO.**
Fernández Fuster, Luis.
Alianza Editorial. Madrid, España. 1985.

- **INTRODUCTION TO DIGITAL COMMUNICATION.**
Ziemel, Rodger E. ; Peterson, Roger L.

- **MANUAL TECNICO Y DE RESERVACIONES 1994.**
WORLDSPAN.
Alphacomm International, Inc.
México. 1994.

- **NETWORK AND TELECOMMUNICATIONS**
Design and Operation
Clark, Martin P.
John Wiley & Sons, Gran Bretaña, Inglaterra, 1990

- **NETWORK CONSULTANT TRAINING**
Meta Group, Estados Unidos, 1990.

- **SATELLITE COMMUNICATION.**
Pritchard, Wilbur L. ; Sciulli, Joseph A.
Prentice Hall. Estados Unidos.

- **SATELLITE COMMUNICATION SYSTEM DESIGN**
Sebastián Tirr6,
Estados Unidos, 1994

- **SISTEMAS DE COMUNICACI6N.**
Lathi, B. P.
Nueva Editorial Interamericana. 1a. edici6n. México. 1986.

- **SISTEMAS ELECTRONICOS DIGITALES.**
Fundamentos para procesamiento y transmisión de datos.

- **SOCIOLOGIA DEL TURISMO.**
Cambios estructurales en el turismo moderno.
Knebel, Hans - Joachim
Editorial Hispano Europea. Barcelona, España. 1974.

- **TELECOMMUNICATIONS NETWORKS**
Protocols, Modeling and Analysis
Mischa Schwartz
Addisson-Wesley Publishing Company, Nov 1988, Estados Unidos.

- **TURISMO.**
ESTRUCTURA Y DESARROLLO.
La estructura funcional del turismo internacional y la política turística de México. Desarrollo histórico. 1945 - 1990.
Jiménez Martínez, Alfonso de Jesús.
Editorial McGraw - Hill. México. 1992.

- **UNDERSTANDING DATA COMMUNICATIONS.**
From fundamentals to networking.
Held, Gilbert.
John Wiley & Sons.

APENDICE A



A.1 CONCEPTOS BASICOS DE MODULACION

Técnicas de Modulación.

La modulación puede definirse como el cambio en alguna característica de una onda o señal de forma conocida, que suele denominarse portadora, la cual está en función de otra onda o señal de forma desconocida que transporta información.

En los sistemas de comunicación por radiofrecuencia (RF), en la generalidad de los casos la portadora es una onda de forma sinusoidal, y existen muchos métodos para modificar o modular la portadora. Algunos de tales métodos son:

- * Modulación lineal.
- * Modulación angular (o exponencial)
- * Diversos tipos de modulación de pulsos.

En los siguientes párrafos se analizarán con más detalle cada uno de ellos, pero primero se describen las características generales.

Una portadora sinusoidal es descrita por la función:

$$e_c(t) = E_c \text{ sen } (\omega_c t + \phi_0) \quad (\text{ec. 1})$$

donde:

E_c : Amplitud, V

ω_c : Frecuencia, rad/s

ϕ_0 : Fase Inicial, rad

El argumento de la función seno de la ecuación 1 se denomina ángulo de fase, o ángulo de fase instantáneo de la portadora. En la figura 1 se describen las

características en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia de la portadora sinusoidal.

Como se observa en la expresión temporal sinusoidal de la ecuación 1 , existen dos parámetros o características de la portadora que es posible modificar en correspondencia con una señal de información $g(t)$. Estos parámetros son la amplitud y el ángulo de fase.

Modulación Lineal.

En ella se hace variar la amplitud de la portadora de forma proporcional a la señal de información. Por lo general se encuentran tres formas de modulación lineal:

- **Modulación de amplitud (AM - Amplitude Modulation).**
- **Modulación de doble banda lateral con supresión portadora (DSBSC - Double Sideband Supressed-Carrier).**
- **Modulación de banda lateral única con supresión de la portadora (SSBSC - Single Sideband Supressed-Carrier).**

En cada una de estas formas de modulación el proceso es lineal y equivalente a la multiplicación de la señal de información por la portadora. La portadora modulada resultante traslada efectivamente la energía de la señal de información a una banda de frecuencias (bandas laterales) adyacentes a la frecuencia de la portadora sinusoidal, permitiendo la transmisión por radiofrecuencia de la señal de información.

Modulación Angular

También denominada modulación exponencial; en ella, el argumento de la portadora sinusoidal se hace variar modulando ya sea la fase θ o la frecuencia ω . Cuando se hace variar la fase de manera directamente proporcional a la señal de información $g(t)$,

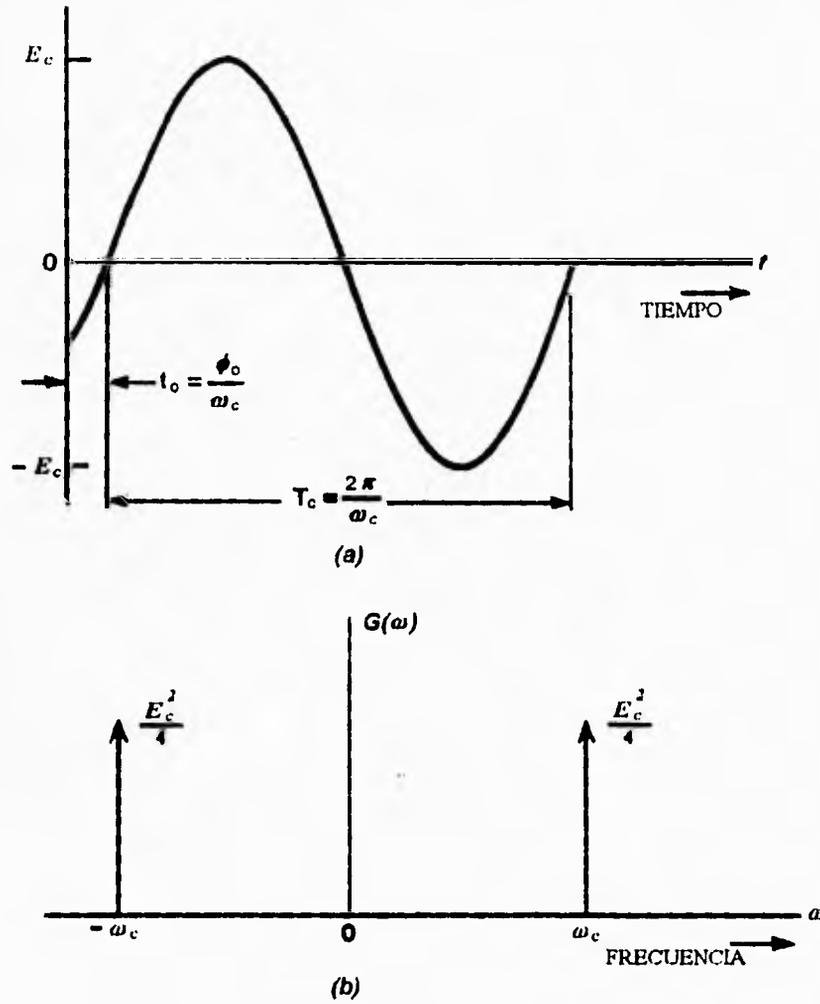


FIGURA 1. Características de la señal portadora sinusoidal:
a) Función del Tiempo
b) Densidad Espectral de Potencia Bilateral

entonces $\theta(t) = [\omega_c t + \phi(t) + \phi_0]$, lo que representa modulación de la fase (**PM - Phase Modulation**). De forma alternativa, cuando la frecuencia ω de la portadora se hace variar en proporción directa con la señal de información, entonces $\theta(t) = [\omega(t)t + \phi_0]$, lo que representa modulación de frecuencia (**FM - Frequency Modulation**).

Modulación por Pulsos

Además de la modulación de ondas continuas, es posible utilizar una técnica para muestrear señales de información en el tiempo a fin de generar una señal modulada por pulsos (o de pulsos modulados). Si bien es posible utilizar directamente la señal de pulsos (pulsante) como la portadora de información, se acostumbra empleársele para modular una portadora de onda continua para efectos de transmisión. El muestreo en el tiempo también puede utilizarse para combinar o multicanalizar diversas señales de información para su transmisión en una sola portadora o canal de comunicación, este proceso de muestrear y combinar en el tiempo se denomina multicanalización por división de tiempo (**TDM - Time Division Multiplexing**). Algunos de los parámetros pulsátiles que es posible modular o modificar por medio de una señal de información son la amplitud, duración y posición, dando como resultado:

- Modulación de pulsos en amplitud (**PAM - Pulse Amplitude Modulation**).
- Modulación de pulsos en duración (**PDM - Pulse Duration Modulation**).
- Modulación de pulsos en posición (**PPM - Pulse Position Modulation**).

Una forma más complicada de modulación por pulsos de amplio uso para los canales con gran capacidad de información, es la modulación de pulsos en código o modulación por codificación de pulsos (**PCM - Pulse Code Modulation**). En los sistemas PCM, las señales individuales de información se muestrean en el tiempo y se cuantizan en amplitud. Después, la amplitud muestreada se transmite con una palabra

binaria codificada que representa el intervalo de cuantificación en el que caen las muestras de amplitud. De un grupo de palabras, denominado cuadro, cada palabra se transmite en un segmento de tiempo específico. El instante de inicio del cuadro se identifica con una palabra única de sincronización.

La modulación en delta es una forma de cuantificación predictiva, equivalente a un sistema de modulación de pulsos en código de 1 bit; es decir, cada palabra PCM se representa por medio de un solo bit. Tales sistemas se basan en la transmisión de las diferencias cuantizadas entre valores muestrales consecutivos, más que en las muestras mismas.

Además de la combinación de señales para la transmisión simultánea en el tiempo, es costumbre separar las señales de información canalizando el dominio de la frecuencia, lo que da por resultado una señal multicanalizada por división de frecuencia (FDM - Frequency Division Multiplexed). La señal FDM usualmente consta de varias subportadoras (sinusoidales) que sirven para separar las diversas señales de información en el dominio de la frecuencia. La composición de las subportadoras se modula posteriormente en amplitud, fase o frecuencia sobre una portadora de radiofrecuencia para su transmisión.

En años recientes ha aparecido otra forma de canal de comunicación de acceso múltiple. En estos canales se utilizan códigos pseudoaleatorios para identificar y separar la señal de cada usuario cuando se tiene un receptor común. Tales técnicas también proporcionan cierto grado de seguridad y protección en la propagación por trayectoria múltiple.

Modulación Lineal

• **Modulación en Amplitud - AM**

En este tipo de modulación, la amplitud instantánea de la portadora (sinusoidal) se hace variar en forma proporcional a la amplitud de la señal moduladora. En el caso general, la descripción en el dominio del tiempo de una señal de AM es:

$$e_{AM}(t) = [1 + mg(t)] E_c \text{ sen}(\omega_c t + \phi_0) \quad (\text{ec. 2})$$

donde:

- $g(t)$: Señal de Información
- E_c : Amplitud Pico de la Portadora sin Modular, V
- ω_c : Frecuencia de la Portadora, rad/s
- ϕ_0 : Angulo de Fase Inicial de la Portadora, rad
- m : Índice de Modulación

En la figura 2 se muestra la función instantánea de tiempo para el caso especial en el que $g(t)$ es una señal de información sinusoidal con amplitud normalizada a la unidad:

$$g(t) = \text{sen}(\omega_m t + \phi_m)$$

donde:

- ω_m : Frecuencia de la señal de información, radianes por segundo
- ϕ_m : Fase de la Señal de Información, radianes.

El índice de modulación de la señal de AM determina la cantidad de energía contenida en las bandas laterales de la señal. En la señal de AM $e_{AM}(t)$ de la figura 2, el índice de modulación m está definido como:

$$m\% = \left(\frac{E_{máx} - E_{mín}}{E_{máx} + E_{mín}} \right) \times 100 \quad (\text{ec. 3})$$

donde:

$E_{m\acute{a}x}$: Valor Máximo (cresta) de la Amplitud de la Señal Modulada

$E_{m\acute{i}n}$: Valor Mínimo (valle) de la Amplitud de la Señal Modulada.

En la mayor parte de los sistemas de AM, el índice está restringido a no más del 100% ($m = 1.0$), para evitar distorsión no lineal de la señal de información y la generación de armónicos de la portadora transmitida.

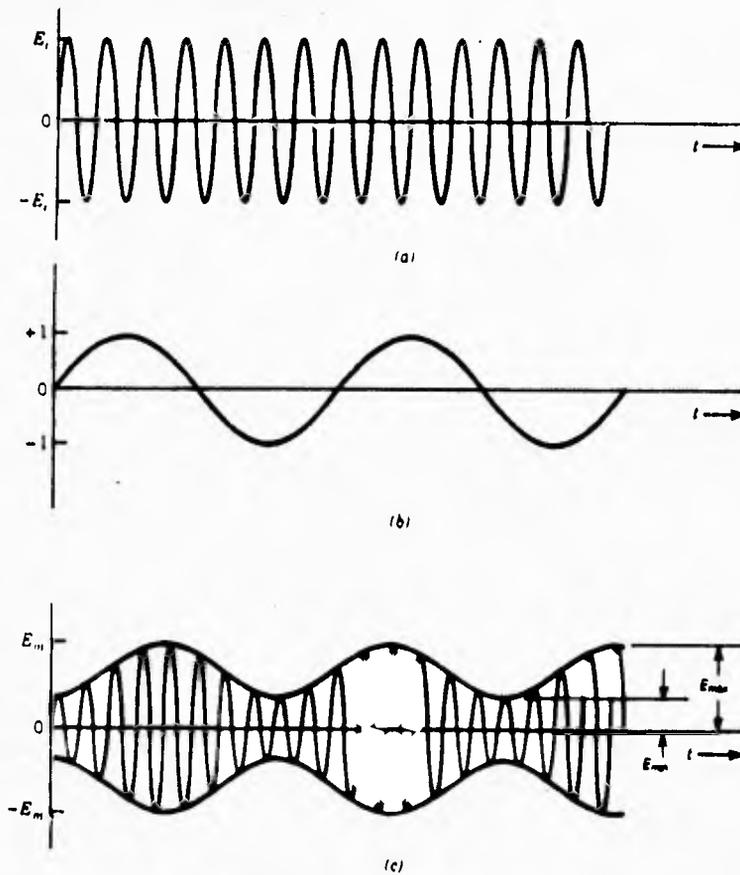


FIGURA 2. Funciones del tiempo de la modulación AM: a) Señal portadora b) Señal de información, c) Señal modulada en amplitud

Densidad Espectral de Potencia y Potencia de la Banda Lateral.

La distribución de la potencia transmitida en una señal de AM se describe por medio de la función densidad espectral de potencia, que es:

$$G_{AM}(\omega) = \left[1 + 2m\overline{g(t)}\right] \frac{E_c^2}{4} [\delta(\omega - \omega_c) + \delta(\omega + \omega_c)] + \frac{E_c^2}{4} [G_g(\omega - \omega_c) + G(\omega + \omega_c)] \quad (\text{ec. 4})$$

donde:

$G_g(\omega)$: Espectro de potencia de la señal de información

$g(t)$ y $\delta(\omega)$: Representa la función Delta de Dirac.

Si la señal de información está limitada en banda a ω_m rad/s, el espectro de potencia de la señal de AM está limitado en banda a la frecuencia de la portadora $\pm \omega_m$.

La potencia total de la señal de AM se expresa de la siguiente forma:

$$P_{AM} = \left[1 + 2m\overline{g(t)} + m^2\overline{g^2(t)}\right] \frac{E_c^2}{2} \quad (\text{ec. 5})$$

En la figura 3 se muestran las funciones densidad espectral de potencia de la señal de información y de la señal de AM.

La potencia total en las bandas laterales está dada por:

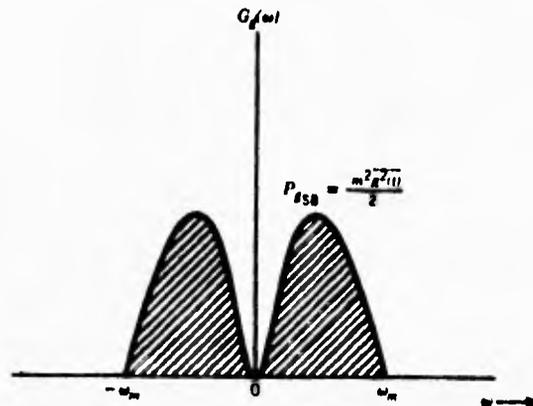
$$P_{SB} = \left[m^2\overline{g^2(t)}\right] \frac{E_c^2}{2} \quad (\text{ec. 6})$$

Para el caso especial en el que la señal de modulación sea una senoide con amplitud unitaria. En la figura 4 se muestra la densidad espectral de potencia bilateral.

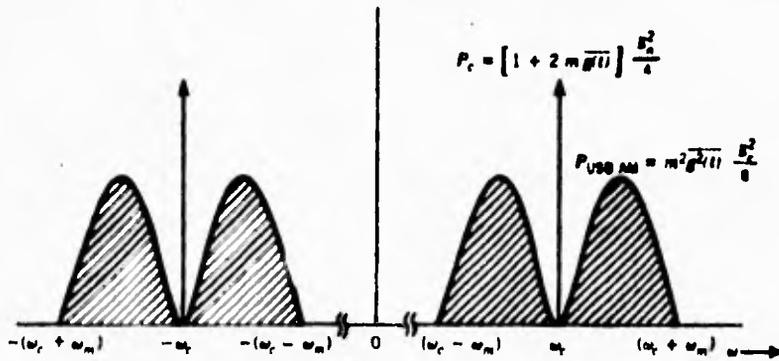
Dado que $g(t) = \text{sen}(\omega_0 t + \phi_0)$, el valor medio de $g(t)$ es cero, y el valor cuadrático medio es igual a $\frac{1}{2}$. Por tanto:

$$P_{AM} = \frac{E_c^2}{2} \left[1 + \frac{m^2}{2} \right] \quad (\text{ec. 7})$$

$$P_{SB} = m^2 \frac{E_c^2}{4} \quad (\text{ec. 8})$$



(a) DENSIDAD ESPECTRAL DE POTENCIA BILATERAL DE UNA SEÑAL DE INFORMACIÓN LIMITADA EN BANDA



(b) DENSIDAD DE POTENCIA ESPECTRAL BILATERAL DE UNA SEÑAL MODULADA EN AMPLITUD

FIGURA 3. Densidad espectral de potencia, modulación en amplitud (AM) con señal de información limitada en banda

Como se puede observar, de las ecuaciones descritas para el caso de una señal de información sinusoidal, y suponiendo el índice máximo de modulación del 100% ($m = 1.0$), solo la tercera parte de la potencia total está contenida en las bandas laterales de información.

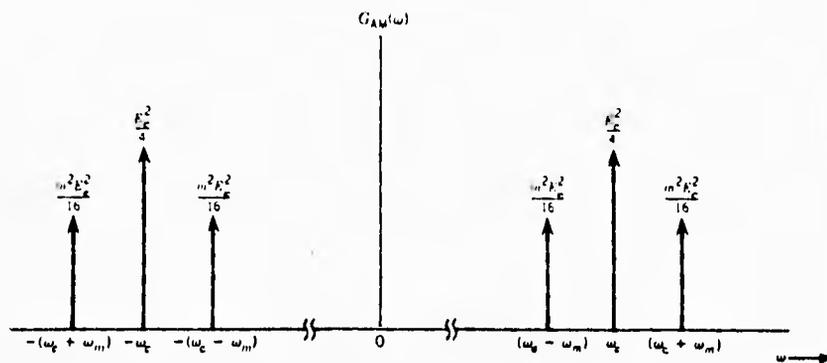


FIGURA 4 Espectro de potencia de una señal modulada en amplitud con una señal de modulación sinusoidal

• **Modulación de Doble Banda Lateral con Supresión de Portadora (DSBSC).**

Si la señal de modulación no contiene término constante, el formato de modulación cambia al de la doble banda lateral con supresión de portadora (DSBSC).

La representación en el dominio del tiempo de la señal DSBSC es:

$$e_{DSB}(t) = mg(t)\text{sen}(\omega_c t + \phi_0) \quad (\text{ec. 9})$$

donde:

m , $g(t)$, ω_c y ϕ_0 significan lo mismo que en el caso de AM.

En la figura 5, se muestra la estructura en el dominio del tiempo de la onda de doble

banda lateral con supresión de portadora, suponiendo la señal de modulación $g(t)$ como una onda sinusoidal.

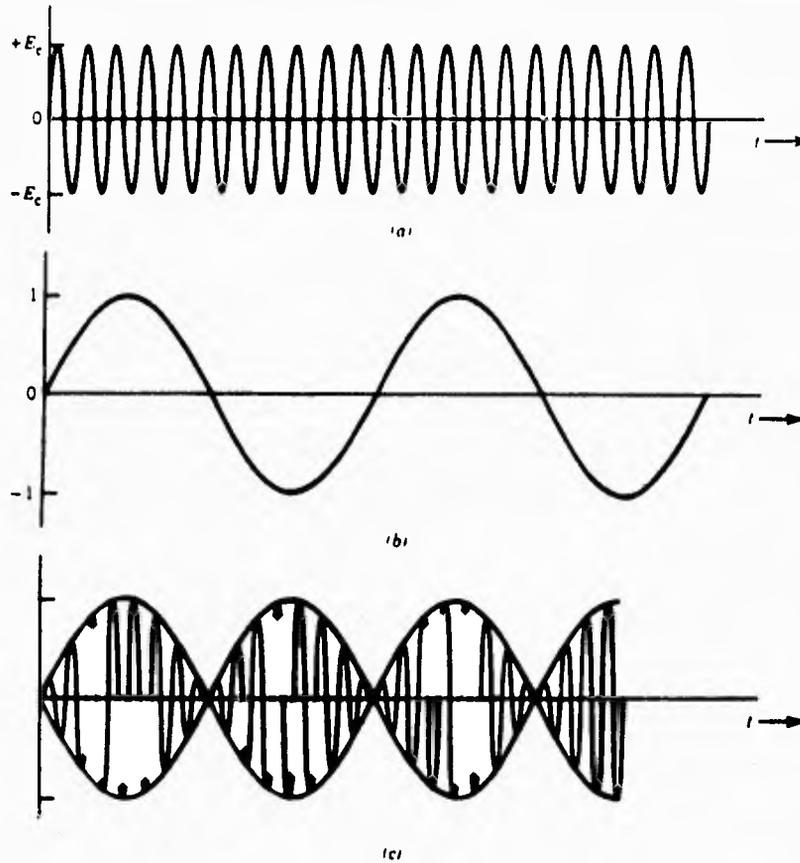


FIGURA 5 Funciones del tiempo de la modulación de doble banda lateral (DSBSC). a) Señal Portadora, b) Señal de Información c) Señal Modulada

Cada vez que la señal de información pasa por el valor cero, la fase de la señal portadora se desplaza 180° (es decir, existe una inversión de fase). Esta característica de la onda DSBSC es importante en los sistemas de transmisión digital, ya que permite

la generación de una técnica digital especial de modulación de fase, denominada manipulación por desplazamiento de fase (PSK - **Phase Shift Keying**).

Densidad Espectral de Potencia y Potencia de Banda Lateral

La densidad espectral de potencia de una señal DSBSC es:

$$G_{DSB}(\omega) = \frac{E_c^2}{4} [G_g(\omega - \omega_c) + G_g(\omega + \omega_c)] \quad (\text{ec. 10})$$

En la figura 6 se ilustra la densidad espectral de potencia bilateral de la señal de información de banda base limitada, así como la onda modulada DSBSC.

Es de interés observar que el efecto de la modulación DSBSC es una traslación del espectro de modulación de la banda base a la frecuencia de la portadora.

También se observa que el ancho de banda ocupado por la energía espectral de la señal de información es dos veces el del espectro de la banda base:

$$BW_{DSB} = [(\omega_c + \omega_m) - (\omega_c - \omega_m)] = 2\omega_m \quad (\text{ec. 11})$$

La potencia total de la señal DSBSC es:

$$P_{DSB} = \frac{E_c^2}{2} \overline{g^2(t)} \quad (\text{ec. 12})$$

donde:

$g^2(t)$: Valor cuadrático o potencia total de la señal de información.

La potencia total de la banda lateral de la DSBSC es:

$$P_{SB(DSB)} = \frac{E_c^2}{2} \overline{g^2(t)} \quad (\text{ec. 13})$$

Por tanto, toda la potencia de una onda DSBSC está contenida en el espectro de la señal de información, lo que da por resultado un proceso de transmisión más eficiente que el de AM. Sin embargo, el proceso de demodulación para las señales moduladas con supresión de portadora es más complicado que para el caso de la AM, y así existe una consideración de complejidad y costo del receptor en comparación con la eficiencia del transmisor.

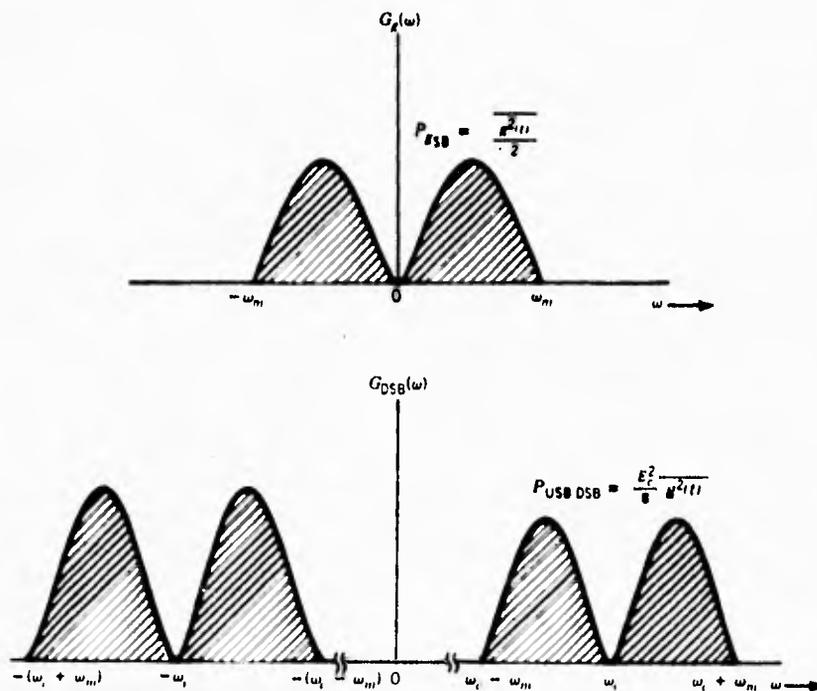


FIGURA 6 Espectros de la densidad de potencia: a) Señal de información limitada en banda. b) Señal de doble banda lateral con supresión de portadora

• **Modulación de Banda Lateral Única con Supresión de Portadora (SSBSC)**

Una señal de banda lateral única con supresión de la portadora puede generarse mediante técnicas de filtrado (hacer pasar sólo una de las bandas laterales de modulación) o de defasamiento durante el proceso de modulación. Si se hace pasar una onda de doble banda lateral con supresión de portadora a través de un filtro que elimine por completo todas las señales por debajo de la portadora, como se muestra en la figura 7, se obtiene una onda de banda lateral única con supresión de portadora.

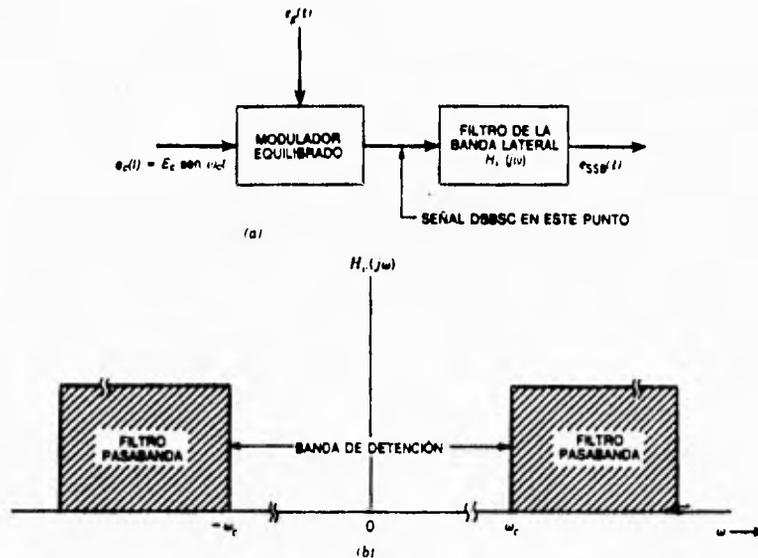


FIGURA 7 Generación de una señal de banda lateral única con supresión de portadora: a) diagrama funcional del modulador b) características del filtro de la banda lateral

Es posible obtener un resultado parecido mediante el empleo de la denominada técnica de discriminación de fase, que requiere la adición de una versión de

cuadratura de la señal modulada de doble banda lateral con supresión de la portadora a la onda original DSBSC. En la figura 8 se ilustra esta técnica de modulación SSBSC.

La representación resultante de la función temporal para la modulación SSBSC puede expresarse con mayor brevedad en forma de cuadratura de la portadora, es decir:

$$e_{SSB} = g(t) \cos \omega_c t - U(t) \sin \omega_c t \quad (\text{ec. 14})$$

donde $U(t)$ es la versión de cuadratura de $g(t)$ obtenida al introducir un defasamiento constante de 90° en todas las frecuencias de $g(t)$.

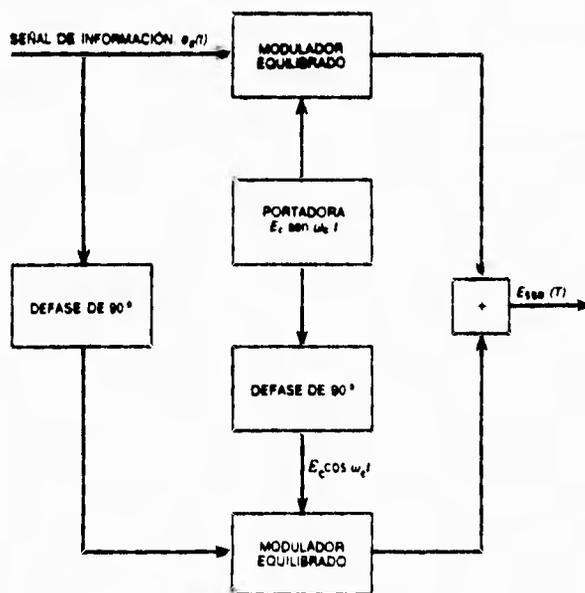


FIGURA 8 Técnica de desplazamiento de fase para la generación de la modulación de banda lateral única con supresión de portadora

Densidad Espectral de Potencia y Potencia de la Banda Lateral.

El espectro de potencia para la onda SSBSC es esencialmente el de la señal DSBSC sin una de las bandas laterales de información. En la figura 9 se ilustra el espectro SSBSC cuando se ha elegido la banda lateral para transmisión.

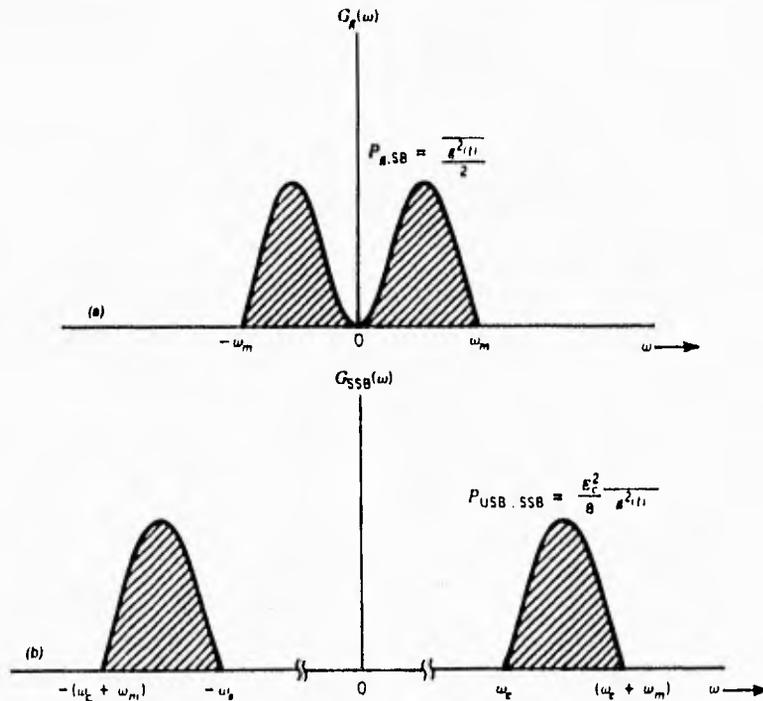


FIGURA 9 Densidad espectral de potencia para a) El espectro de la banda base de la señal de información bilateral, suponiendo limitación en banda a $\pm \omega_m$ y b) Espectro de una onda modulada de banda lateral única con supresión de la portadora bilateral (SSBSC)

El espectro de densidad de potencia está dado por la expresión:

$$P_{SSB} = \frac{E_c^2}{4} g^2(t) \tag{ec. 15}$$

y la potencia de la banda lateral es:

$$P_{SB} = \frac{E_c^2}{4} \overline{g^2(t)} \quad (\text{ec. 16})$$

Como en el caso de la señal DSBSC, la potencia total y la potencia de la banda lateral de la señal de información son iguales para la señal SSBSC. Sin embargo, la potencia total disponible es la mitad que en el caso de la señal modulada DSBSC si la amplitud de la portadora, E_c , es igual.

Modulación Angular

Como ya se observó, un parámetro de la portadora que es posible modular o variar a fin de transportar información es el ángulo de fase.

Si en el argumento de la función sinusoidal se incluye un término que varía proporcionalmente con la señal de modulación o de información, el resultado es la modulación de fase (PM - **Phase Modulation**).

Por tanto, para la PM la ecuación en el dominio del tiempo es:

$$e_{PM}(t) = E_c \text{ sen } [\omega_c t + \theta(t) + \phi_0] \quad (\text{ec. 17})$$

donde:

$\theta(t)$: $\Delta \theta g(t)$

$\Delta \theta$: Índice de Modulación de Fase, radianes

$g(t)$: Función Temporal de la Señal de Información

ω_c : Frecuencia de la Portadora, rad/seg.

ϕ_0 : Angulo de Fase Inicial Arbitrario, radianes

Si el argumento es tal que la diferencia en la frecuencia instantánea $\omega_i(t)$ y la frecuencia de la portadora es proporcional a la señal de modulación o de información, entonces la señal es modulada en frecuencia. Así, para FM la frecuencia varía proporcionalmente a la señal de información $g(t)$:

$$\omega_i(t) - \omega_c = \Delta\omega g(t)$$

Ya que $\omega_i(t) = d\theta(t) / dt$, para la FM la ecuación de la onda de forma sinusoidal en el dominio del tiempo es:

$$e_{FM}(t) = E_c \text{sen} [\omega_c t + \theta(t) + \phi_0] \quad (\text{ec. 18})$$

donde:

$$\theta(t) = \int_{-\infty}^t g(t) dt$$

$\Delta\omega$ es la desviación de la frecuencia de cresta en radianes por segundo. Por consiguiente, en general el senoide modulado en ángulo puede expresarse en forma compleja como el fasor:

$$E_\theta(t) = E_c \exp[j(\omega_c t + \phi_0)] + \exp[j\theta(t)] \quad (\text{ec. 19})$$

donde $j = -1$. La expresión fasorial revela que, para el caso de la modulación en ángulo, la portadora $E_c \exp [j\omega_c t + \phi_c]$ ha sido modificada por una función exponencial del mensaje $\theta(t)$. Por ello, los términos "modulación exponencial" y "modulación angular" son sinónimos.

Como se observa en la estructura temporal de la portadora modulada en ángulo, la amplitud de la señal permanece constante cuando se aplica la modulación. En la figura 10 se ilustra una portadora modulada en ángulo cuando la señal de información es una sola onda sinusoidal $g(t) = \Delta\theta \text{sen } \omega_m t$. Las señales resultantes PM y FM difieren en

que la variación de fase para las primeras es una función sinusoidal, y para las segundas, es una función cosenoidal.

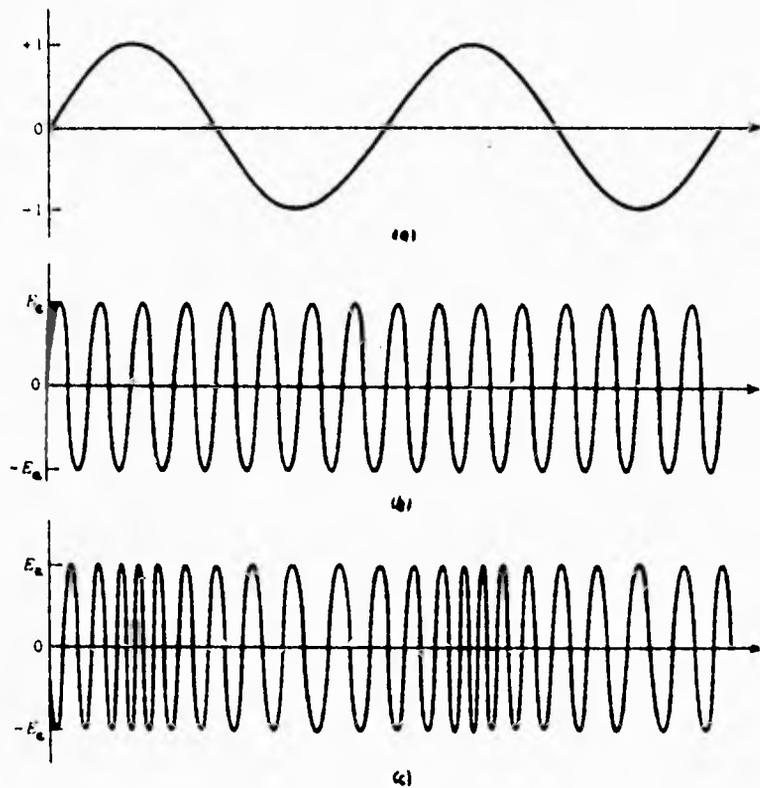


FIGURA 10 Modulación angular mediante una señal sinusoidal única:
a) Señal de información
b) Señal portadora
c) Señal portadora RF modulada angularmente

Modulación de Fase

Debido a las características no lineales del proceso PM, el espectro de potencia de la portadora modulada resultante es más complicado que en la modulación lineal. Por consiguiente, en el análisis del espectro de potencia de la onda PM, sólo se considerarán algunos tipos de señales de modulación.

Cuando $g(t) = \text{sen } \omega_c t$, para la onda modulada en fase, la función en el dominio del tiempo es:

$$e_{PM}(t) = E_c \text{sen} [\omega_c t + \Delta\theta \text{sen } \omega_c(t)] \quad (\text{ec. 20})$$

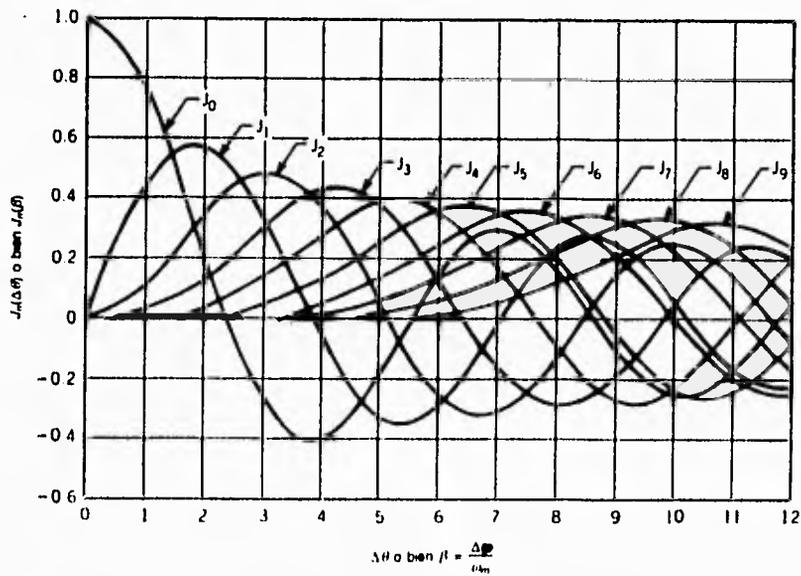


FIGURA 11 Coeficientes de Bessel para las componentes espectrales de modulación de fase y de frecuencia (PM y FM)

Así, el espectro de potencia de una onda modulada sinusoidalmente es una serie de funciones de pulso espaciadas simétricamente con respecto a la frecuencia portadora ω_c en múltiplos de la frecuencia de modulación ω_m .

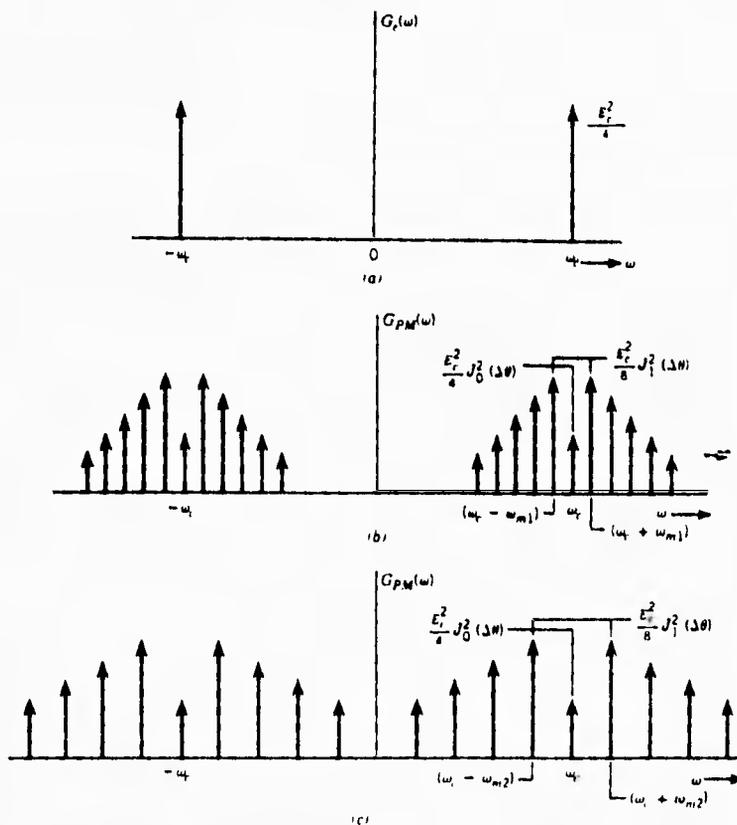


FIGURA 12 Espectros de potencia para una onda modulada en fase de un tono único: a) Portadora sin modular bilateral, b) Señal modulada PM bilateral (10 KHz), c) Señal modulada bilateral PM (20 KHz)

El peso de cada pulso es determinado por la función de Bessel de orden idóneo para la banda lateral específica en cuestión.

Teóricamente, en el espectro PM aparece una infinidad de bandas laterales. Sin embargo, las características de la función de Bessel son tales que las magnitudes de la banda lateral decrecen con rapidez a medida que aumenta el orden. En la figura 11 se muestran los coeficientes de Bessel para las primeras bandas laterales de noveno orden de una onda PM o FM como función de su argumento $\Delta\theta$ o β .

La modulación de fase extrae potencia de la señal portadora y la deposita en las bandas laterales. Para la modulación de tono único, el espectro de potencia es como se ilustra en la figura 12, suponiendo un índice de modulación de fase $\Delta\theta$ constante y una frecuencia ω_m creciente de la señal de modulación.

Modulación Digital de Fase

Una señal portadora modulada en fase por una señal digital (binaria) puede expresarse en el dominio del tiempo como:

$$e_{PM}(t) = E_c \text{ sen } [\omega_c t + \Delta\theta s(t)] \quad (\text{ec. 21})$$

donde: $s(t)$ se define como una función de conmutación digital del tiempo cuyos valores son ± 1 .

Si la transición de +1 a -1 y viceversa es instantánea (es decir, se supone ancho de banda infinito), desarrollando la expresión anterior se obtiene:

$$e_{PM}(t) = E_c [\cos \Delta\theta \text{ sen } \omega_c t + s(t) \text{ sen } \Delta\theta \cos \omega_c t] \quad (\text{ec. 22})$$

El espectro de una señal modulada en fase digitalmente puede observarse en la figura 13. La cantidad de potencia distribuida en las bandas laterales que representan la señal de información es:

$$P_{SB} = E_c^2 \text{ sen}^2 \Delta\theta \quad (\text{ec. 23})$$

Dado que la potencia total de la onda PM es $E_c / 2$, la pérdida por modulación puede redefinirse para una señal de modulación digital como:

$$ML = \text{sen}^2 \Delta\theta \quad (\text{ec. 24})$$

donde:

$\Delta\theta$ es el índice de modulación PM ya definido.

La potencia restante de la portadora en la onda es:

$$P_c = \frac{E_c^2}{2} \cos^2 \Delta\theta \quad (\text{ec.25})$$

Así, la supresión de la portadora también puede definirse como:

$$CS = \cos^2 \Delta\theta \quad (\text{ec.26})$$

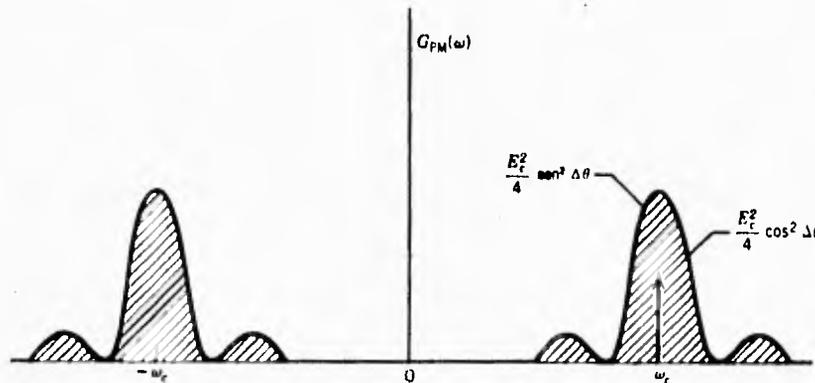


FIGURA 13 Densidad espectral de potencia de una onda modulada en fase digitalmente (Señal de información binaria sin regreso a cero (NRZ))

En la tabla 1 se presentan los valores de la pérdida por modulación (ML) y la supresión de la portadora (CS) como función de $\Delta\theta$. Cuando $\Delta\theta = \pi/2$ radianes, la portadora se suprime por completo:

$$CS = \cos^2 \pi/2 = 0 \quad (\text{ec. 27})$$

y no se genera pérdida por modulación:

$$ML = \text{sen}^2 \pi/2 = 1 \quad (\text{ec. 28})$$

De esta manera tenemos que, para un índice de modulación de $\pi/2$ radianes, considerando una función de modulación digital $s(t)$, toda la potencia aparece en las bandas laterales de la información.

$\Delta\theta$ (rad)	Supresión de la Portadora (SP) = $\cos \Delta\theta$	Pérdida por Modulación (PPM) = $\text{sen } \Delta\theta$
0	1	0.0
0.2	0.961	0.0395
0.4	0.848	0.152
0.6	0.681	0.318
0.8	0.485	0.515
1.0	0.292	0.708
1.2	0.131	0.869
1.4	0.029	0.971
1.6	0.00085	0.999
1.8	0.052	0.948
2.0	0.173	0.827
2.2	0.346	0.654
2.4	0.544	0.456
2.6	0.734	0.266
2.8	0.888	0.112
3.0	0.980	0.019

TABLA 1 Supresión de la portadora y pérdida por modulación contra $\Delta\theta$ para la modulación de fase digital.

Por razones históricas, la modulación en fase digital es frecuentemente llamada manipulación por corrimiento de fase (PSK - **Phase Shift Keying**). Un modulador PSK de M-fases, coloca la fase de una portadora dentro de uno de los M estados de acuerdo al valor de un voltaje modulado. El modulador de dos estados o PSK bifásico es usualmente llamado BPSK, mientras que el de cuatro estados o PSK cuadrifase es denominado QPSK. La posibilidad de otros números de estados, y combinaciones de modulación en amplitud y fase, son empleados en los enlaces terrestres, sin embargo, los usuarios de satélites han sido reacios a adoptar alguna cosa que no sea BPSK o QPSK. Una razón importante de esto son los altos valores de (C/N) requeridos para razones de bits de error aceptables, típicamente > 26 dB. Algún tipo de PSK puede ser directo o diferencial dependiendo del estado o del cambio del voltaje modulado, el cual determina la fase transmitida.

Ya sea directo o diferencial, un modulador PSK provoca que la fase de una forma de onda portadora vaya a uno de los grupos finitos de valores. El tiempo de transición, más el tiempo empleado en la fase deseada constituyen un intervalo de tiempo fijo llamado período de símbolo; la forma de onda transmitida durante el intervalo es llamado símbolo. El grupo de todos los símbolos para un tipo de modulación particular es denominado alfabeto. Motivo por el cual la BPSK tiene un alfabeto de dos símbolos y la QPSK tiene un alfabeto de cuatro símbolos.

En el proceso de modulación digital, un flujo de dígitos binarios entrantes (bits) determinan cual símbolo de los M disponibles en el alfabeto serán transmitidos. Matemáticamente, N_b bits son requeridos para especificar cual de los M símbolos posibles está siendo transmitidos; donde N_b y M son relacionados por:

$$N_b = \log_2 (M) \quad (\text{ec. 29})$$

donde:

N_b : Número de bits por símbolo para el esquema de modulación M-PSK.

Binary Phase Shift Keying (BPSK)

En la manipulación por corrimiento de fase bifásico, un flujo de bits bipolar entrante $u(t)$ activa la fase de una portadora más o menos 90° ($\pi/2$ rad). Así, si u_i es el bit i th, entonces la portadora transmitida v_c está dada por

$$v_c = V \cos(\omega_c t - u_i \frac{\pi}{2}) \quad (\text{ec. 30})$$

donde V es una amplitud arbitraria frecuentemente activada a 1. Entonces u_i deberá tener un valor de ± 1 , un " 1 " lógico es transmitido activando la fase a $-\pi/2$ rad y un cero lógico es transmitido con una fase $+\pi/2$. Utilizando identidades trigonométricas reescribiremos la ecuación anterior como:

$$v_c = V u_i \text{sen}(\omega_c t) \quad (\text{ec. 31})$$

y vemos que BPSK reensambla la modulación en amplitud en la cual la señal modulada tiene únicamente un valor de +1 o -1. Esto hace que la forma de onda de BPSK tenga una amplitud constante y un detector de envolvente de AM que no puede ser demodulada.

Para recuperar u_i , el receptor debe comparar la fase de la señal recibida con otra de un voltaje de referencia de igual fase al de la portadora original sin modular. Esto puede ser realizarse con el simple detector de producto (mezclador) mostrado en la figura 14, donde el voltaje de salida v_o es idealmente u_i . Al centro de cada intervalo de símbolo, un circuito de decisión determina si v_o es positivo o negativo, definiendo con ello a u_i , (si fué +1 y representa un uno o si fue un -1 y represento un cero). Esta

técnica es llamada detección coherente, donde se requiere un voltaje de referencia que esté en una fase coherente con la portadora transmisora.

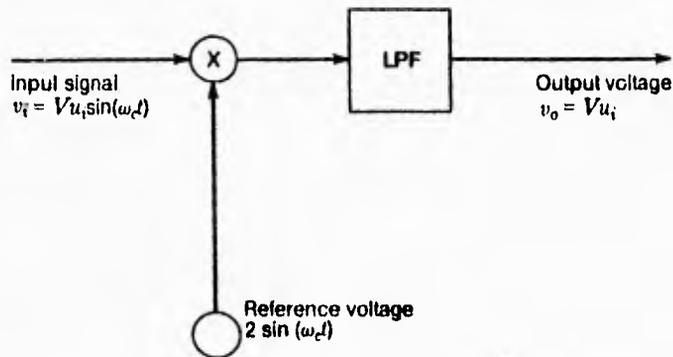


FIGURA 14 Un detector coherente BPSK

Puesto que la detección coherente es el camino más eficiente de la demodulación directa BPSK, la ecuación:

$$PB = \frac{1}{2} \text{erfc}(\sqrt{E_b / N_0}) \quad (\text{ec. 32})$$

donde:

PB : Probabilidad de la Razón de Bits de Error

erfc: Función de Error Complementario

es la relación normalmente usada para determinar el (E_b / N_0) y por tanto la (C/N) que un enlace satelital debe mantener para encontrar un requerimiento específico de la razón de bits de error. La figura 15 despliega una curva de PB vs (E_b / N_0) .

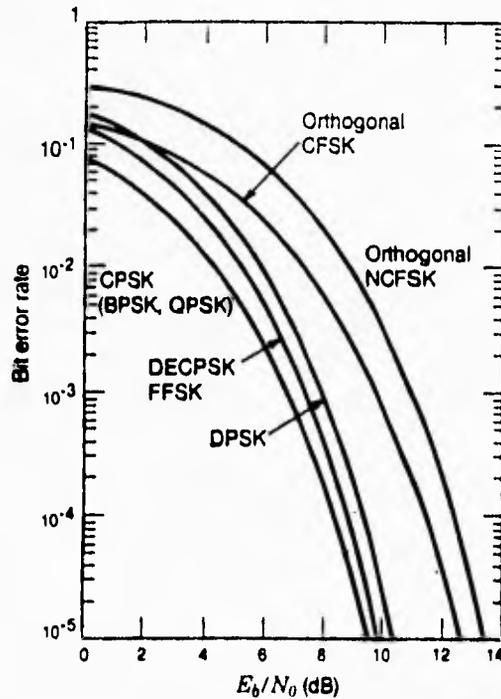


FIGURA 15 Razón de bits de error vs. (E_b/N_0)

La portadora de referencia mostrada en la figura 14, puede ser generada desde la señal recibida utilizando un circuito de recuperación de portadora, una forma de lazo de fase cerrada (PLL - **Phase Locked Loop**).

La mayoría de los lazos de recuperación de portadora tienen una ambigüedad de fase de 180°, esto es, cuando el lazo es cerrado la fase de la portadora recuperada puede diferir en 180° del valor correcto. Esto tiene el efecto de intercambiar ceros y unos lógicos y ocasionar que el flujo de bits demodulados sean el complemento de lo que

fue transmitido. Hay diversos caminos para eliminar este problema; uno es utilizar codificación diferencial, en la cual los símbolos adyacentes tienen la misma fase si el voltaje modulado es un " 1 " y, están 180° fuera de fase si esto es un " 0 ". Esto puede ser realizado por un desplazamiento de fase binaria que cierra entre un cambio de fase de 0° y un cambio de fase de 180° cada vez que el bit modulado es un cero. Los valores de 1 entrantes no tienen efecto.

La modulación diferencial es más susceptible de error que la modulación directa puesto que un error sobre un simple bit en un sistema diferencial causará que uno o más bits subsecuentes sean interpretados incorrectamente. La mayoría de los sistemas de satélites evitan la codificación diferencial y verifican el estado de la fase de la portadora recuperada periódicamente transmitiendo una palabra conocida. La lógica en el receptor observa esta palabra. Si éste recibe correctamente, entonces la fase de la portadora recuperada es correcta. Si este recibe el complemento de la palabra conocida, entonces la fase de la portadora recuperada está defasada 180° y el flujo de datos demodulados podría ser complemento después de que éste es enviado al usuario final.

Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)

En QPSK la fase ϕ de la portadora es activada por el modulador a uno de cuatro posibles valores. Esto es:

$$v = V \sqrt{2} \cos(\omega_c t - \phi) \quad (\text{ec. 33})$$

donde:

ϕ : toma los valores $\pi/4, 3\pi/4, 5\pi/4$ y $7\pi/4$ rad

Utilizando identidades trigonométricas para expandir la ecuaciónse obtiene:

$$v = V \sqrt{2} \cos \omega_c t \cos \phi + V \sqrt{2} \sin \omega_c t \sin \phi \quad (\text{ec. 34})$$

El primer término es una señal BPSK en fase con la portadora; este es llamado el canal I. El segundo término es una señal BPSK en cuadratura con la portadora y es denominada el canal Q. Así una forma de onda QPSK puede ser generada combinando dos formas de onda BPSK en cuadratura. Lo cual se puede expresar como:

$$v = u_I V \cos w_c t + u_Q V \sin w_c t \quad (\text{ec. 35})$$

donde u_I representa un flujo de datos binarios modulando el canal I y u_Q representa un flujo de datos binarios modulando el canal Q. En ambos un 1 lógico corresponde a u_I o $u_Q = +1$ y un 0 lógico corresponde a u_I o $u_Q = -1$.

La relaciones entre u_I , u_Q y ϕ están dadas por:

$$\begin{aligned} u_I &= 2 \cos \phi \\ u_Q &= 2 \sin \phi \end{aligned} \quad (\text{ecs. 36 y 37})$$

y se resumen en la tabla 2. Note que ϕ es convenientemente visualizada como el ángulo de fase de un fasor cuyo componente real es u_I y el componente imaginario es u_Q . Ver figura 16.

Los bits u_I y u_Q pueden seleccionarse alternativamente de un flujo de bits entrantes. Por ejemplo, u_I puede representar el número impar de bits y u_Q puede representar el par. En este caso un canal de datos binarios entra al modulador QPSK y la razón de bits salientes es igual a la mitad de la razón de bits entrantes. Alternativamente u_I y u_Q representan, canales de datos binarios que vienen de fuentes independientes y QPSK

fue transmitido. Hay diversos caminos para eliminar este problema; uno es utilizar codificación diferencial, en la cual los símbolos adyacentes tienen la misma fase si el voltaje modulado es un " 1 " y, están 180° fuera de fase si esto es un " 0 ". Esto puede ser realizado por un desplazamiento de fase binaria que cierra entre un cambio de fase de 0° y un cambio de fase de 180° cada vez que el bit modulado es un cero. Los valores de 1 entrantes no tienen efecto.

La modulación diferencial es más susceptible de error que la modulación directa puesto que un error sobre un simple bit en un sistema diferencial causará que uno o más bits subsecuentes sean interpretados incorrectamente. La mayoría de los sistemas de satélites evitan la codificación diferencial y verifican el estado de la fase de la portadora recuperada periódicamente transmitiendo una palabra conocida. La lógica en el receptor observa esta palabra. Si éste recibe correctamente, entonces la fase de la portadora recuperada es correcta. Si este recibe el complemento de la palabra conocida, entonces la fase de la portadora recuperada está defasada 180° y el flujo de datos demodulados podría ser complemento después de que éste es enviado al usuario final.

Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)

En QPSK la fase ϕ de la portadora es activada por el modulador a uno de cuatro posibles valores. Esto es:

$$v = V \sqrt{2} \cos(\omega_c t - \phi) \tag{ec. 33}$$

donde:

$$\phi: \text{ toma los valores } \pi/4, 3\pi/4, 5\pi/4 \text{ y } 7\pi/4 \text{ rad}$$

Utilizando identidades trigonométricas para expandir la ecuaciónse obtiene:

$$v = V \sqrt{2} \cos \omega_c t \cos \phi + V \sqrt{2} \sin \omega_c t \sin \phi \tag{ec. 34}$$

puede ser visto como una forma de multiplexaje digital que combina dos señales BPSK con portadoras ortogonales.

Cuando u_I y u_Q vienen de canales independientes, entonces la razón de bit entrante en cada una de las entradas del modulador es igual a la razón de símbolos salientes.

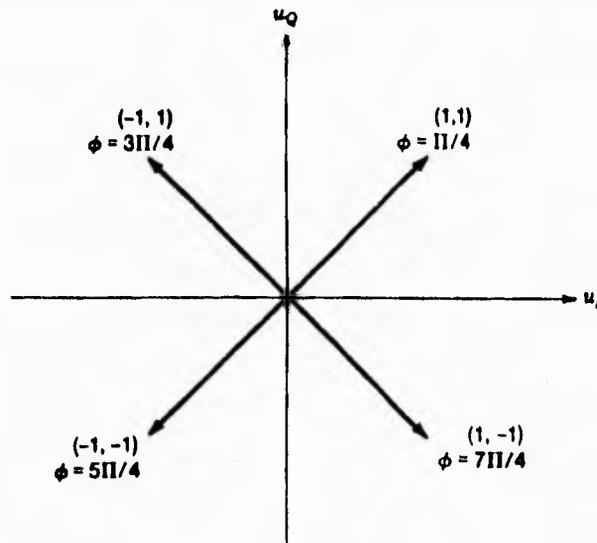


FIGURA 16 Diagrama de fasorial de las posibles combinaciones de u_I , u_Q

u_I	u_Q	ϕ
1	1	π
-1	1	$3\pi/4$
-1	-1	$5\pi/4$
1	-1	$7\pi/4$

TABLA 2 La relación entre el flujo de bits modulados u_I y u_Q y el ángulo de la fase ϕ de la forma de onda modulada QPSK.

Los moduladores y demoduladores de QPSK son básicamente moduladores y demoduladores de doble canal BPSK. Un canal procesa los bits u_1 y utiliza la portadora de referencia; el otro procesa los bits u_0 y utiliza una fase de 90° versión de la referencia. Las figuras 17 y 18 muestran diagramas de bloques generalizados de un modulador y demodulador QPSK.

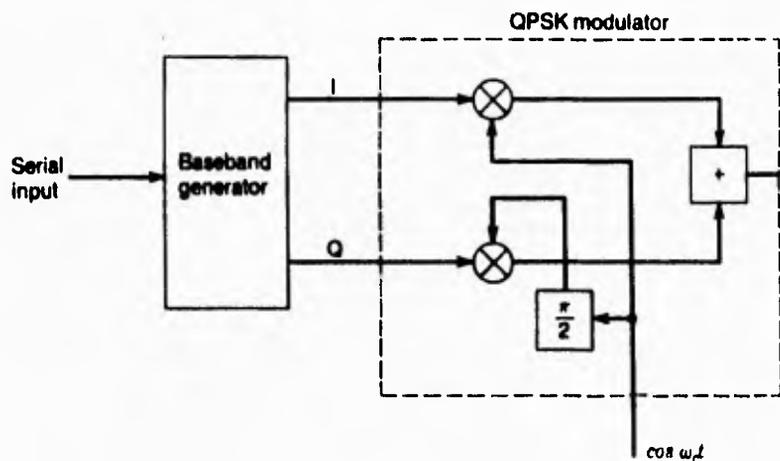


FIGURA 17 Un modulador QPSK generalizado

Si el ángulo ϕ de la fase transmitida toma los valores $\pi/4$, $3\pi/4$, $5\pi/4$ o $7\pi/4$ rad, entonces el receptor QPSK debe simplemente decidir en cual cuadrante se sitúa la señal del fasor recibido. Un circuito de decisión interpreta la fase de todas las señales que están en el primer cuadrante como $\pi/4$; todos estos en el segundo cuadrante son asumidos para ser transmitidos con una fase de $3\pi/4$ y así sucesivamente.

Los errores de símbolo ocurren cuando el ruido empuja al fasor receptor dentro del

cuadrante equivocado. En esto asumimos que el símbolo transmitido tiene una fase de $\pi/4$ rad, correspondiendo a $u_I = 1$ y $u_Q = 1$. La banda angosta de ruido blanco gaussiano puede ser resuelto dentro de componentes ortogonales independientes que son respectivamente en fase y en cuadratura con algún fasor arbitrario. Nosotros orientaremos el ruido para hacer que los componentes de los fasores de ruido n_1 y n_2 apunten en la dirección que son más probables para causar errores de símbolo.

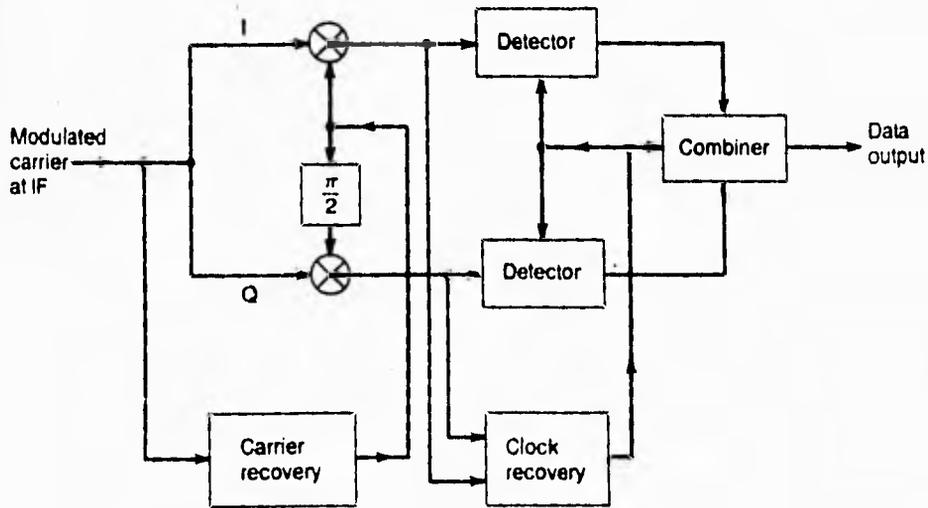


FIGURA 18 Un demodulador QPKS generalizado

Un error de símbolo ocurrirá si n_1 o n_2 exceden V . El anterior colocará la fase aparente en el segundo cuadrante, mientras el siguiente lo pondrá en el cuarto cuadrante.

Si ambos exceden V al mismo tiempo, el resultado irá dentro del tercer cuadrante. Dejar que el voltaje de ruido rms sea σ . Esto es también el valor rms de n_1 y n_2 . la probabilidad de que n_1 exceda V es P_A .

$$P_A = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{V}{\sigma\sqrt{2}}\right) \quad (\text{ec. 38})$$

La probabilidad de que n_2 exceda V es P_B . Entonces n_1 y n_2 tienen el mismo valor rms $P_A = P_B$. La probabilidad de que n_1 y n_2 excedan simultáneamente V es P_A^2 . Asumiremos que esto es insignificante en comparación a P_A .

Un error se producirá si $n_1 > V$ o $n_2 > V$. Entonces los componentes de ruido de que la probabilidad PE suceda son independientes:

$$PE = 2 P_A = \operatorname{erfc}\left(\frac{V}{\sigma\sqrt{2}}\right) \quad (\text{ec. 39})$$

La potencia de la señal rms es proporcional a V^2 . Siguiendo los pasos similares a esto obtenemos:

$$PE = \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_s}{2N_0}}\right) \quad (\text{ec. 40})$$

En este punto podemos enfatizar que PE en la ecuación 39 es la razón de bits de error para QPSK.

Podemos calcular PB para QPSK reconociendo que hay dos bits por símbolo y por tanto $E_s = 2E_b$. La razón de bits de error para QPSK está dada por:

$$PB = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right) \quad (\text{ec. 41})$$

Así QPSK y BPSK tienen la misma razón de bits de error para un mismo E_b/N_0 y el rendimiento por error de los dos sistemas de modulación podrían parecer idénticos; una gráfica de PB versus (E_b/N_0) para QPSK podría ser el mismo como el que se muestra en la figura 15.

Para comparar QPSK y BPSK sobre una base igual, asumimos que debemos enviar R_0 bits por segundo sobre un enlace satelital con ancho de banda fijo B y un valor fijo de (C/N) . Para QPSK, $R_s = R_0/2$. Entonces

$$\left[\frac{E_s}{N_0} \right] = \frac{C}{N} \frac{B_{QPSK}}{R_s} = \frac{C}{N} \frac{2B}{R_0} \quad (\text{ec. 42})$$

Para BPSK, $R_s = R_0$ y

$$\left[\frac{E_s}{N_0} \right] = \frac{C}{N} \frac{B_{BPSK}}{R_s} = \frac{C}{N} \frac{2}{R_0} \quad (\text{ec. 43})$$

por la ecuación 32:

$$PB = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{B}{R_0} \frac{C}{N}} \right) \quad (\text{ec. 44})$$

y de la ecuación 40:

$$PB = \frac{1}{2} PE_{QPSK} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{B}{R_0} \frac{C}{N}} \right) \quad (\text{ec. 45})$$

De donde se obtiene que QPSK tendrá un BER más alto que BPSK cuando los dos esquemas de modulación sean comparados para iguales razones de bit, anchos de banda y valores de (C/N) . Pero QPSK transporta más del doble de datos que BPSK por el mismo ancho de banda de RF y utilizando el primero, se puede duplicar la

capacidad de comunicaciones (y las fuentes de ganancias de potencia) de un transpondedor. Algunos sistemas TDMA utilizan BPSK en su preámbulo para un rápido y preciso establecimiento de un enlace que subsecuentemente transportará QPSK.

Modulación de Frecuencia

Para el caso de la modulación de frecuencia de onda continua, la expresión en el dominio del tiempo está dada por:

$$e_{FM}(t) = E_c \text{sen} \left[\omega_c t + \int_{-\infty}^t g(t) dt + \phi_0 \right] \quad (\text{ec. 46})$$

Al igual que PM, el proceso de modulación de frecuencia es no lineal y da por resultado un espectro de ancho de banda infinito. Debido a la dificultad de establecer las características especiales del espectro de FM y los requisitos de ancho de banda de transmisión.

Modulación de Frecuencia de Onda Sinusoidal

Para el caso especial en que la señal de modulación sea una onda sinusoidal única:

$$g(t) = \Delta\omega \text{sen } \omega_m t$$

la función de tiempo de la portadora modulada en frecuencia es:

$$e_{FM}(t) = E_c \text{sen} \left(\omega_c t + (\Delta\omega / \omega_m) \cos \omega_m t + \phi_0 \right) \quad (\text{ec. 47})$$

El argumento de la onda modulada en frecuencia contiene la componente de fase dependiente del tiempo:

$$\theta(t) = (\Delta\omega / \omega_m) \cos \omega_m t \quad (\text{ec. 48})$$

Así la modulación en frecuencia por medio de un tono de onda sinusoidal único de una señal con frecuencia ω_m es equivalente a la modulación en fase de una portadora con una onda cosenoidal de frecuencia ω_m (radianes) e índice de modulación de fase $\Delta\theta = \Delta\omega / \omega_m$.

El espectro de potencia de la onda de FM con modulación sinusoidal es una serie infinita de pulsos separados simétricamente con respecto a la portadora por una distancia igual a la frecuencia de la señal de modulación ω_m y sus armónicos. El peso de cada impulso depende de la función de Bessel de orden adecuado para ese término en específico de banda lateral y del índice de modulación de frecuencia $\beta = \Delta\omega / \omega_m$. Ya que el caso práctico no permite un ancho de banda de transmisión infinito.

El argumento de la onda modulada en frecuencia contiene la componente de fase dependiente del tiempo:

$$\theta(t) = (\Delta\omega / \omega_m) \cos \omega_m t \quad (\text{ec. 48})$$

Así la modulación en frecuencia por medio de un tono de onda sinusoidal único de una señal con frecuencia ω_m es equivalente a la modulación en fase de una portadora con una onda cosenoidal de frecuencia ω_m (radianes) e índice de modulación de fase $\Delta\theta = \Delta\omega / \omega_m$.

El espectro de potencia de la onda de FM con modulación sinusoidal es una serie infinita de pulsos separados simétricamente con respecto a la portadora por una distancia igual a la frecuencia de la señal de modulación ω_m y sus armónicos. El peso de cada impulso depende de la función de Bessel de orden adecuado para ese término en específico de banda lateral, y del índice de modulación de frecuencia

$\beta = \Delta\omega / \omega_m$. Ya que el caso práctico no permite un ancho de banda de transmisión infinito, en el transmisor, en el receptor o en ambos, se presenta algo de filtrado.

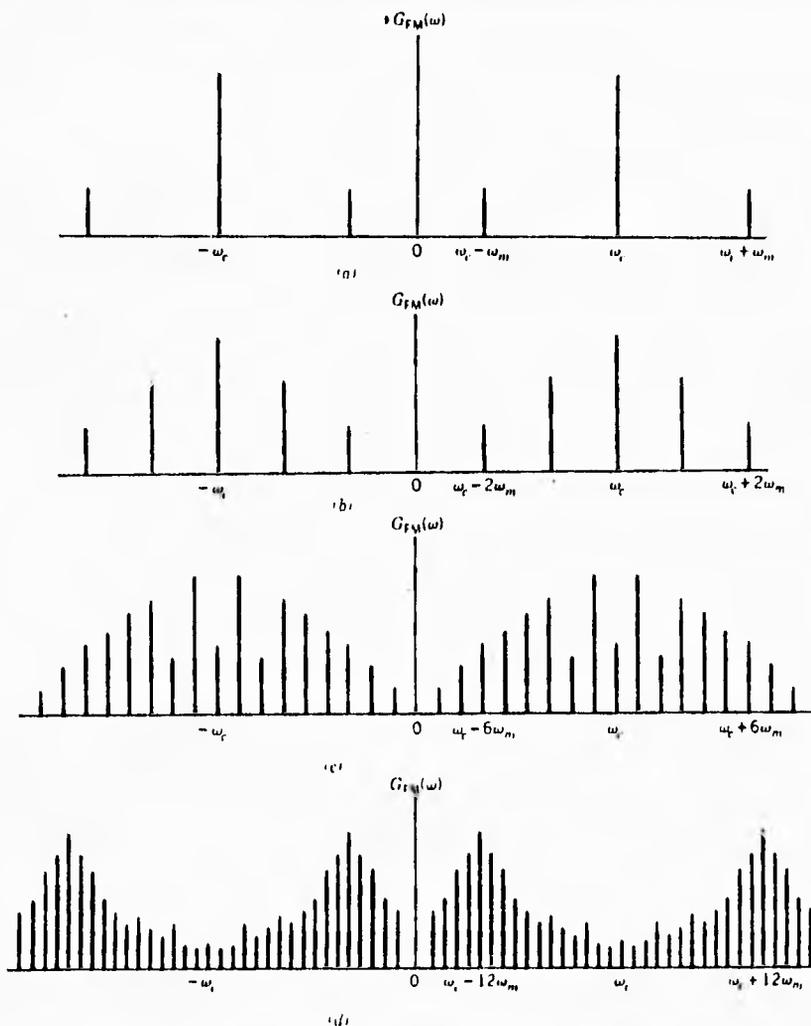


FIGURA 19 Espectros de la potencia de modulación FM para una señal de modulación de tono único: a) Frecuencia 48 KHz, b) Frecuencia 24 KHz, c) Frecuencia 4 KHz

Ha podido demostrarse que el ancho de banda que abarca todas las bandas laterales de amplitud significativa para este caso especial es equivalente a:

$$BW_{FM} = 2(\Delta\omega + \omega_m) \quad (\text{ec.49})$$

que suele denominarse regla de Carson. Sin embargo, la aplicación de esta regla para la modulación en frecuencia con señales de información complejas no necesariamente da por resultado un rendimiento óptimo.

En la figura 19 se ilustra una onda FM modulada; a medida que la frecuencia moduladora ω_m se hace variar y la desviación $\Delta\omega$ se mantiene constante.

Modulación Digital de Frecuencia.

Dos casos de FM digital de interés son la FM de fase continua y la manipulación por desplazamiento de frecuencia (FSK - **F**recuency **S**hift **K**eying).

La modulación de fase continua con una onda cuadrada o un proceso digital binario puede expresarse como:

$$e_{FM}(t) = \sum_{-\infty}^{\infty} |F_n| \cos(\omega_c t + n\omega_o t) \quad (\text{ec.50})$$

donde ω_o es la frecuencia fundamental de la onda cuadrada de modulación y:

$$F_n = \frac{1}{2} \left\{ \frac{\text{sen}[(\beta - n)\pi / 2]}{(\beta - n)\pi / 2} + (-1)^n \frac{\text{sen}[(\beta + n)\pi / 2]}{(\beta + n)\pi / 2} \right\} \quad (\text{ec.51})$$

donde $\beta = \Delta\omega / \omega_o$.

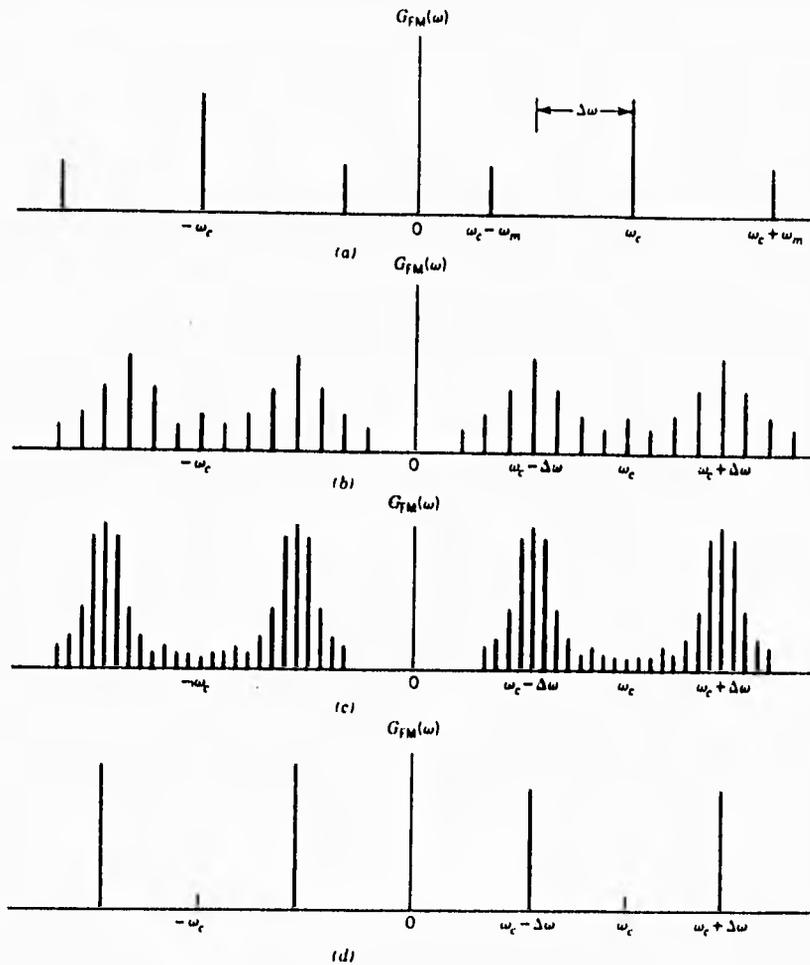


FIGURA 20 Espectros de la potencia de modulación FM para señales de modulación de onda cuadrada ($\Delta\omega$ constante): a) $\beta < 1$, b) $5 < \beta < 10$, c) $10 < \beta < 25$, d) $\beta = \infty$

En la figura 20 se ilustra el espectro modulado; ahí la razón de desviación se incrementa manteniendo constante $\Delta\omega$ y reduciendo ω_0 . Como puede observarse, la

observarse, la energía espectral tiende a concentrarse en la frecuencia equivalente a la desviación de la frecuencia $\Delta\omega$. La distribución espectral FM tiende a seguir la distribución en el tiempo de la señal moduladora. Cuanto más tiempo permanezca la señal en una localización de frecuencia portadora específica, más energía espectral se presenta en esa banda del espectro de la señal modulada. A medida que β tiende a infinito con un $\Delta\omega$ fijo, la velocidad de transmisión de información tiende a cero en el límite. Así cuando $\beta = \alpha$, la señal de modulación está en $+\Delta\omega$ y en $-\Delta\omega$ durante un período infinitamente grande, lo que da por resultado que una mitad de la potencia esté localizada en $\omega_c + \Delta\omega$ y la otra mitad en $\omega_c - \Delta\omega$.

Señalización FSK.

En el caso de la manipulación por desplazamiento de frecuencia, la señal modulada se forma mediante la conmutación entre dos osciladores a las frecuencias ω_1 y ω_2 . Dado que los osciladores no son coherentes, la fase de la onda modulada resultante no es continua; es decir, ocurre una discontinuidad en el tiempo de conmutación. En la figura 21 se ilustra la técnica de modulación FSK.

El espectro de la señal resultante consta de dos funciones de pulso a las frecuencias de símbolos, moduladas por el proceso aleatorio de información binaria que se ilustra en la figura 22.

En virtud de que la señal FSK no es continua en fase, puede recuperarse por medio de filtrado individual de cada una de las frecuencias de símbolos en el receptor. Por lo tanto, el ancho de banda real requerido para la recepción FSK es menor que $(\omega_1 + \omega_2)$, como puede inferirse a partir de la figura 22.

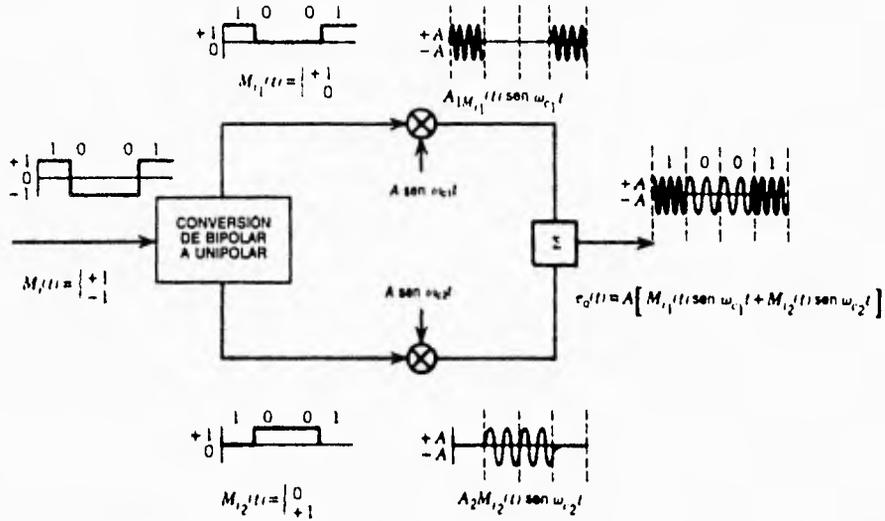


FIGURA 21. Representación funcional de la manipulación por desplazamiento de frecuencia ortogonal FSKO (coherente)

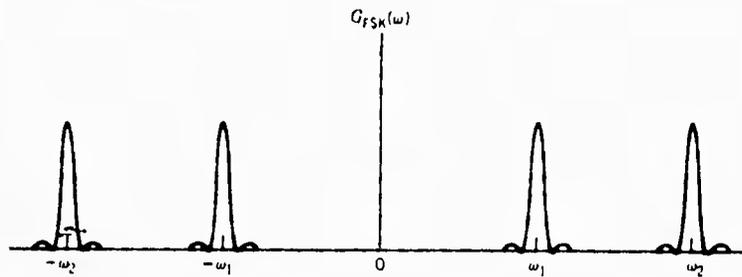


FIGURA 22. Densidad espectral de potencia, señal de manipulación por desplazamiento de frecuencia (FSK)

Modulación por Pulsos.

En los sistemas de modulación por pulsos, los datos se representan por medio de una serie de pulsos periódicamente recurrentes. La señal de información $g(t)$ es transportada haciendo variar algún parámetro asociado con el tren de pulsos. Dado que se dispone de varios parámetros que es posible variar, es factible un gran número de métodos de modulación, siendo uno de éstos la modulación de pulsos en amplitud o modulación de amplitud de pulsos (**PAM - Pulse Amplitude Modulation**), que es el más sencillo en su género; en este método se utilizan muestras de la señal de información para modular las amplitudes de los pulsos consecutivos de la portadora. En vez de utilizarse para modular la amplitud de pulsos, las muestras podrían emplearse para modular el ancho o duración de los pulsos y así obtener modulación por ancho de pulsos (**PWM - Pulse Width Modulation**), o modulación por duración de pulsos (**PDM - Pulse Duration Modulation**). En este caso la información se transporta en los cruces por cero de los flancos de ascenso y descenso de los pulsos.

Otro tipo sería la modulación por posición de pulsos (**PPM - Pulse Position Modulation**), en el cual se hace variar la posición del pulso con respecto al tiempo de repetición (referencia) de los pulsos regularmente espaciados. Por último, es posible hacer variar la frecuencia del tren de pulsos a fin de obtener modulación de pulsos en frecuencia (**PFM - Pulse Frequency Modulation**).

En un método más complicado para la modulación de pulsos se incorpora una técnica que consiste en codificar muestras individuales de la amplitud de la señal de información y transmitir la información codificada a fin de representar cada tamaño de muestra. El proceso de muestrear y codificar se denomina modulación por código de pulsos (**PCM - Pulse Code Modulation**).

Las muestras de la señal de información en la PCM deben convertirse en valores numéricos discretos preasignados, por tanto, cada muestra debe almacenarse en el depósito de código que representa su valor real con mayor precisión. El proceso de digitalizar una señal de información se denomina cuantificación, y da por resultado algo de ruido extra, conocido como ruido de cuantificación, en los datos recuperados. Otra forma de modulación de pulsos es la modulación en delta, en la cual unos símbolos discretos relacionados con aproximaciones previas a la muestra se transmiten conforme al algoritmo específico. Un algoritmo parecido se aplica en el receptor a fin de recuperar la señal de información original.

Teorema del Muestreo.

El teorema del muestreo establece el número de muestras en el tiempo de la función de tiempo de la información $g(t)$ requerido para la reproducción completa de $g(t)$ sin ambigüedades. En la figura 23 se ilustra el proceso de muestreo tanto en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia. $S(t)$, la función de muestreo suele ser un tren de pulsos periódicos con ancho d y amplitud A . La señal muestreada $m(t)$ está formada por el producto de $S(t)$ y $g(t)$, lo que da por resultado un espectro de frecuencias $G_m(\omega)$ y $G_s(\omega)$. Para el espectro ideal de la señal de información limitado en banda, el espectro de la señal muestreada de $G_g(\omega)$ no se superpondrá si:

$$\frac{1}{T_s} > 2W \tag{ec.52}$$

Si la frecuencia de muestreo es dos veces la mayor componente de frecuencia de la señal de información, entonces no habrá superposición de la señal de información en la señal muestreada. Esta frecuencia de muestreo ($2W$) se denomina frecuencia de Nyquist y en teoría es suficiente para recuperar la señal de información original $g(t)$ sin distorsión.

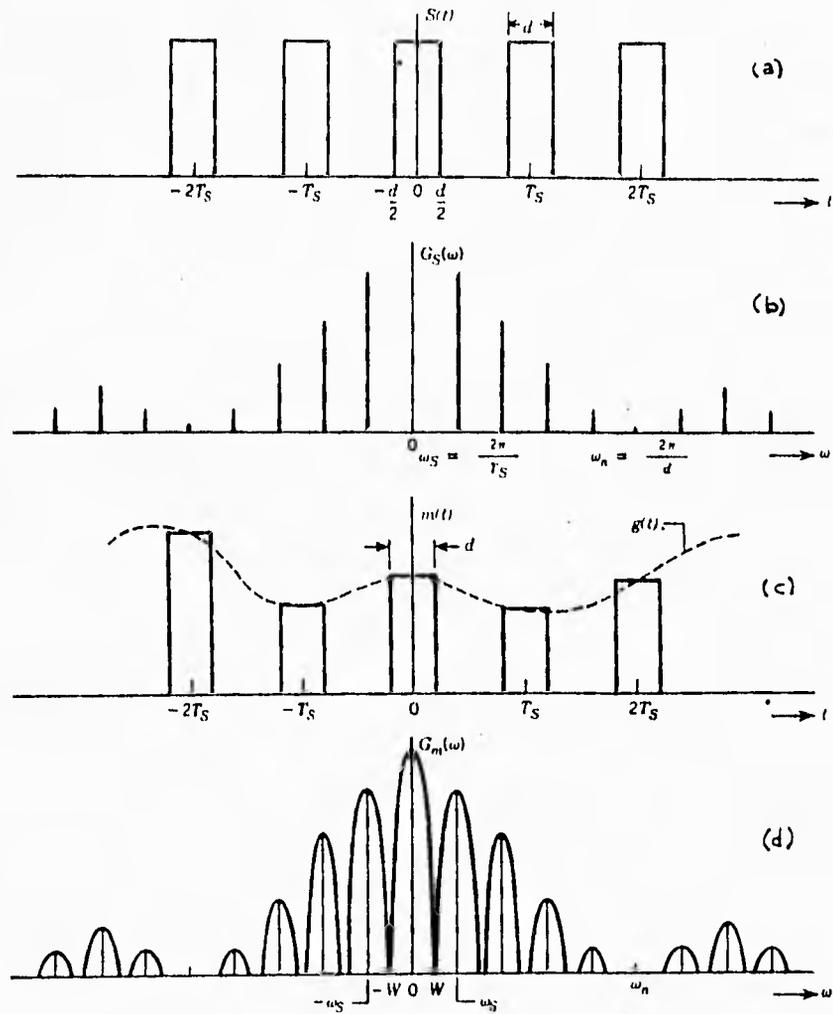


FIGURA 23. Procesos de muestreo en los dominios del tiempo y de la frecuencia
 a) Función de muestreo, dominio del tiempo, b) Espectro de frecuencia de la señal de muestreo, c) Función de la señal muestreada, dominio del tiempo, d) Espectro de frecuencia de la señal muestreada.

Modulación por Amplitud de Pulsos (PAM).

Si la señal muestreada $m(t)$ definida en la figura 23 se transmite directamente, el tren de pulsos resultante es el de la señal modulada por amplitud de pulsos PAM. Si la potencia promedio del tren de pulsos sin modular se denota por P_p , entonces, cuando se introduce la modulación como se muestra en la misma figura, la potencia de la señal es $m_p g(t) P_p$, donde m_p es el índice de modulación o factor de modulación del tren de pulsos.

Modulación por Duración de Pulsos (PDM)

Otra técnica de modulación de pulsos consiste en variar el tiempo de ocurrencia del flanco ascendente o descendente del pulso, lo que da por resultado la variación del ancho o la duración del pulso. En la figura 24 se ilustra una señal por duración de pulsos y la función temporal de información o modulación.

Si el pulso más largo y más corto se denotan por T_L y T_x respectivamente, y la información del mensaje se considera como si residiera directamente en la duración de los pulsos T representará una muestra de amplitud de una señal con información cero y es:

$$T = 1/2 (T_L + T_x) \tag{ec. 53}$$

La excursión positiva y negativa de escala completa de la señal de información se representa entonces por medio de la duración temporal:

$$(T - T_x) = (T_L + T) = 1/2 (T_L - T_x) \tag{ec. 54}$$

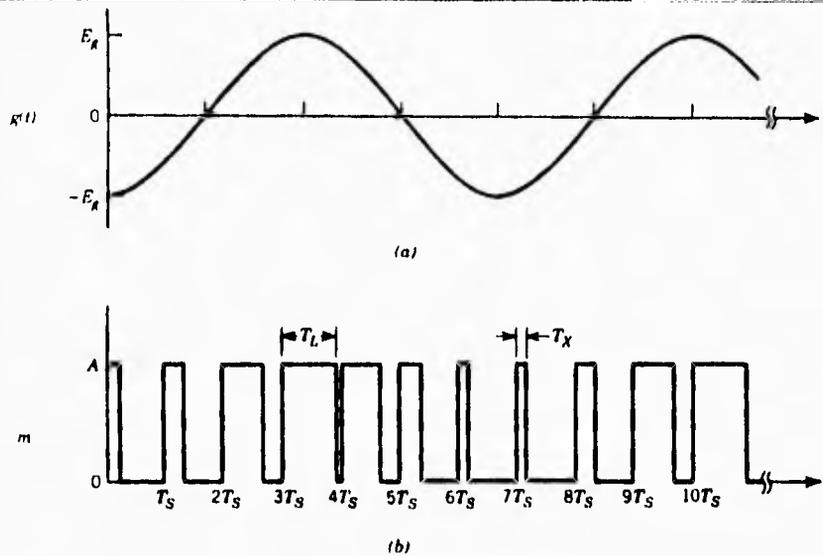


FIGURA 24. Función del tiempo de una señal modulada por duración de pulsos
a) Señal de información, b) Señal modulada por duración de pulsos.

Modulación de pulsos en posición (PPM).

Si la señal modulada en duración de pulsos es diferenciada y se genera otro tren de pulsos de amplitud y duración constantes, de modo que coincida con los picos negativos de la onda diferenciada, entonces se obtiene una señal modulada de pulsos en posición PPM. En la figura 25 se ilustra el proceso de PPM por diferenciación de una señal PDM.

Un sistema PPM puede considerarse análogo a un sistema modulado en ángulo, ya que la información está contenida en la posición de los flancos ascendentes del pulso con respecto a la posición media o promedio de los flancos. En la figura 26 se muestran los efectos del ruido del sistema en la señal PPM recuperada.

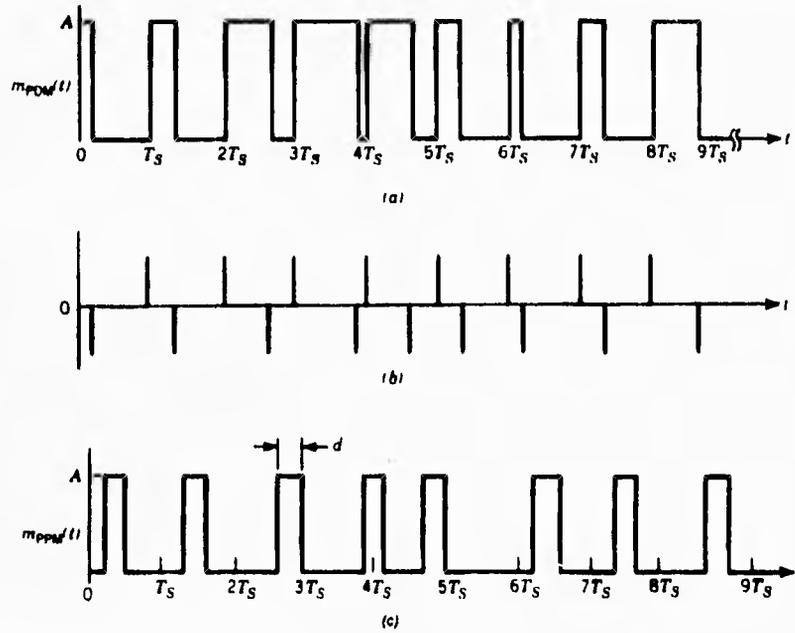


FIGURA 25. Modulación PPM a) Señal modulada por posición de pulsos b) Señal PDM diferenciada c) Señal PPM.

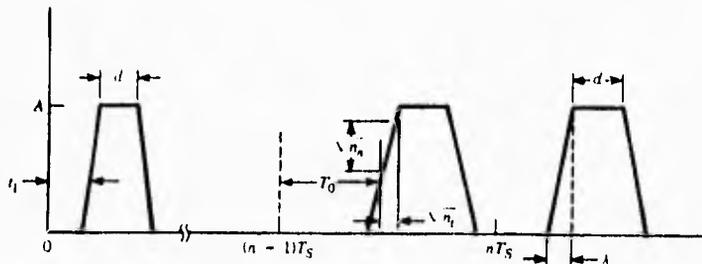


FIGURA 26. Variación en la posición de los pulsos debido al ruido de banda ancha del sistema con desviación estándar \sqrt{n} .

Modulación por Código de Pulsos (PCM).

En los métodos previamente indicados de modulación de pulsos se representaban señales mediante el muestreo de funciones analógicas. También es costumbre representar señales de información continua en forma digital codificada. En este proceso de digitalización, la señal de información $g(t)$ debe muestrearse en el tiempo, y cada una debe cuantificarse en amplitud.

En la figura 27 se ilustra una señal de información muestreada y cuantificada en amplitud.

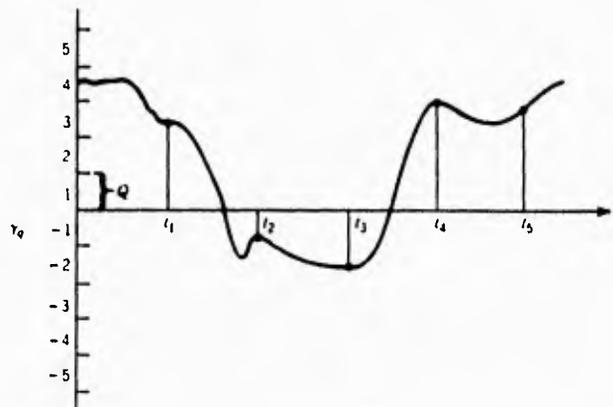


FIGURA 27. Cuantificación de una onda de forma continua.

El intervalo de cuantificación Q depende de la resolución requerida y del nivel de ruido del mismo que los canales de información pueden tolerar. En la figura 27 , en el instante t_1 el sistema debería transmitir $\gamma_q = 3$, en el instante t_2 , $\gamma_q = -1$, en el instante t_3 , $\gamma_q = -2$, etcétera. De este modo, la información realmente transmitida es el símbolo que representa el número de cuantificación individual, en vez de la amplitud muestreada exacta de la señal de información. El número de intervalos de

cuantificación (QI) está relacionado con la resolución deseada y con la amplitud de cresta a cresta de la señal de información.

Si el intervalo de cresta a cresta de $g(t)$ es E_g y la resolución deseada es R , entonces el tamaño del intervalo de cuantificación es $Q = RE_g$. El número de intervalos de cuantificación requerido será de:

$$N_q = E_g/Q = 1/R \qquad \text{(ec. 55)}$$

Digitalización.

Una vez que se han muestreado y cuantificado las amplitudes de la señal, es posible codificar digitalmente los intervalos de cuantificación, y transmitir en el instante muestreado el código digital que representa el intervalo de cuantificación idóneo, por ejemplo, si $N_q = 8$, entonces la figura 28-a ilustra este proceso de codificación binaria. Cada uno y cero del número binario que representa cada intervalo de cuantificación se denomina bit, y cada grupo de bits es una palabra. Con palabras de N bits es posible distinguir entre 2^N intervalos de cuantificación. En la tabla 3 se muestran los tamaños de palabra en bits, el número de intervalos de cuantificación y la resolución en porcentaje.

Los símbolos binarios transmitidos forman una corriente continua de bits, y la frecuencia (velocidad) de esa corriente continua debe ser lo suficientemente alta para conformarse a la frecuencia inicial de digitalización (muestreo) multiplicada por las longitudes de la palabra binaria (número de bits por palabra). En la figura 28-b se ilustra la forma de onda temporal binaria final transmitida, suponiendo un formato de datos binarios sin regreso a cero.

Tamaño de palabra N (núm. de bits)	Número de intervalos de cuantificación $\gamma q=2$	Resolución $R = 1/\gamma q(\%)$
1	2	50
2	4	25
3	8	12.5
4	16	6.25
5	32	3.125
6	64	1.563
7	128	0.78125
8	256	0.391
9	512	0.195
10	1024	0.098

TABLA 3. Tamaños de palabra de modulación por codificación de pulsos contra resolución requerida y número de intervalos de cuantificación.

El sistema en que se cuantifica el mensaje tanto en tiempo como en amplitud y en que se utilizan los símbolos binarios para transmitir la muestra de información se denomina sistema de modulación por codificación de pulsos. La mínima velocidad de datos PCM requerida es igual al tamaño de la palabra dividido entre la frecuencia de muestreo. Por consiguiente, si las muestras de amplitud se toman a intervalos espaciados regularmente por 1 ms y el tamaño de la palabra PCM es de ocho bits, se necesitaría una velocidad de transmisión de datos PCM mínima de 8 Kb/s (kilobits por segundo).

Modulación delta.

La modulación en delta es un tipo de sistema de cuantificación predictivo equivalente a un sistema de modulación de pulsos de código diferencial de un dígito. Estos sistemas se basan en la transmisión de la diferencia cuantificada entre valores muestrales consecutivos, más que en las muestras en sí. Tanto los moduladores como los demoduladores, hacen una estimación o predicción del valor de la señal de entrada con base en la sucesión previamente transmitida.

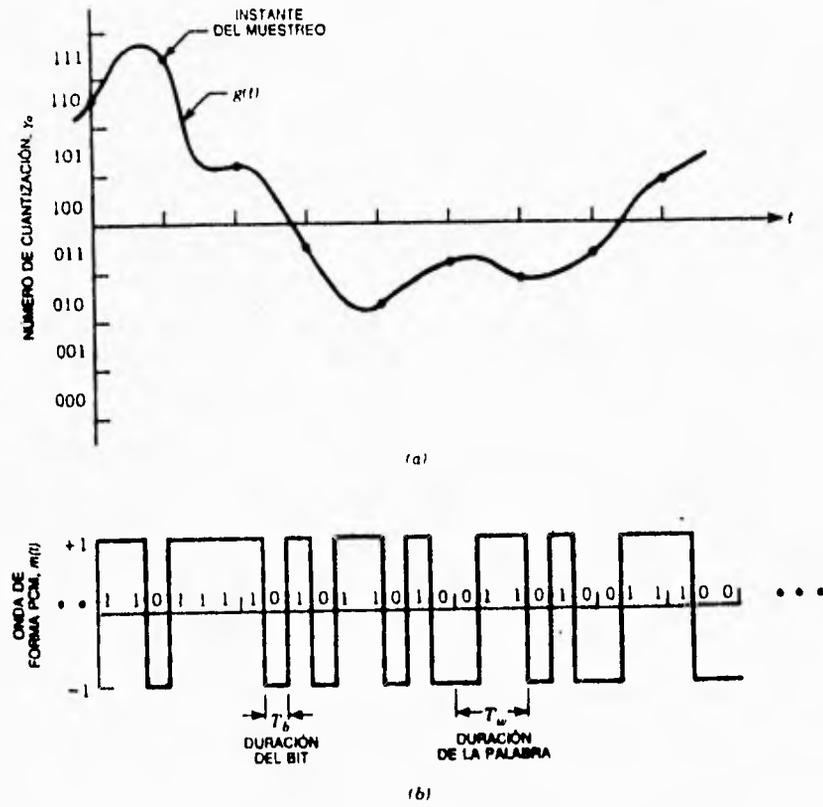


FIGURA 28. Cuantificación (Modulación por codificación de pulsos (PCM)): a) Proceso de codificación binario, b) Onda de forma temporal binaria transmitida

Existen dos tipos de modulación en delta: la **Lineal** y la **Adaptativa**.

En la modulación lineal en delta, se predice el valor de la señal de entrada en cada instante de muestreo como una función lineal particular de los valores anteriores de la

señal. El efecto es hacer la diferencia entre cualesquiera dos valores predictores consecutivos igual al nivel de cuantificación.

En la modulación adaptativa en delta, el valor de la señal de entrada en cada instante de muestreo se predice como una función no lineal de los valores anteriores de la señal. La introducción de la predicción no lineal en la modulación en delta constituye una forma útil de ampliar el intervalo en el cual el sistema produce su rendimiento óptimo.

En la figura 29 muestra un diagrama a bloques de un modulador en delta.

La entrada es una señal de información analógica cuyo valor instantáneo se digitaliza por técnicas de modulación en delta. En el funcionamiento del modulador, la salida analógica del dispositivo de retroalimentación se compara con la señal analógica de entrada, el resultado de esta comparación, que es una señal digital, hace que el dispositivo de retroalimentación incremente o reduzca la magnitud de su salida para aproximarla a la de la entrada. La velocidad con la que el modulador cambia su magnitud está controlada por una señal de reloj, la corriente de bits fluye a la velocidad del reloj.

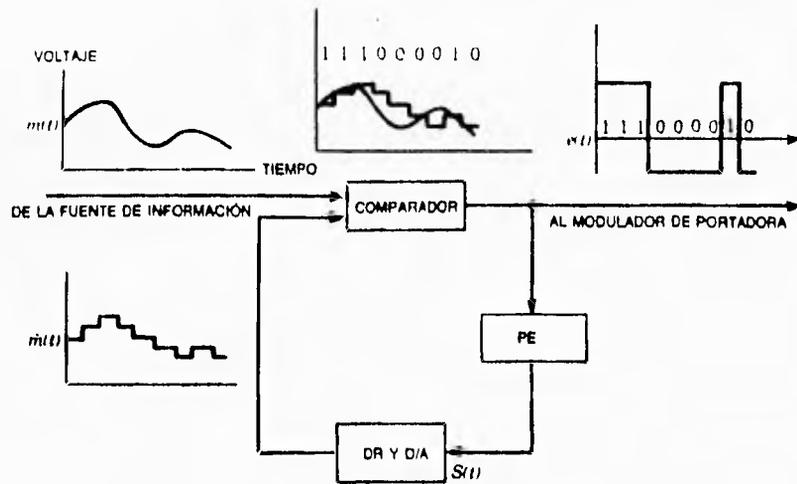


FIGURA 29. Modulación en delta, diagrama funcional. PE= procesador del tamaño del escalón, DR= dispositivo de retroalimentación.

A.2. MULTICANALIZACION

Multicanalización.

Para transmitir de forma simultánea más de una señal de información por el mismo canal es necesario utilizar algún método para combinar o multicanalizar las señales. En cualquier canal de comunicación en el que sea posible la multicanalización existen dos dominios: el del tiempo, en el que ocurre la multicanalización por división de tiempo (**TDM - Time Division Multiplexing**), y el de la frecuencia, en el que se da la multicanalización por división de frecuencia (**FDM - Frequency Division Multiplexing**). Además, se han inventado formas especiales de multicanalización, como la realizada por división de códigos, en la cual cada señal de información se identifica mediante un código pseudoaleatorio único, y la multicanalización por portadora en cuadratura, en la que se utiliza una señal portadora con componentes en cuadratura.

Multicanalización por división de frecuencia (FDM).

Como su nombre indica, en el sistema FDM se combinan múltiples canales de información mediante la combinación de señales subportadoras de diferentes frecuencias en el transmisor y filtrado de las señales recuperadas a fin de seleccionar el canal de información individual en el receptor. En la figura 30 se ilustra el sistema FDM.

Si los espectros de la señal de información están idealmente limitados en la banda y se utiliza modulación de doble banda lateral con supresión de portadora como método de modulación de la subportadora, entonces las frecuencias de ésta pueden elegirse de modo que se evite la superposición en el espectro de la señal de información, como se observa en la figura 31.

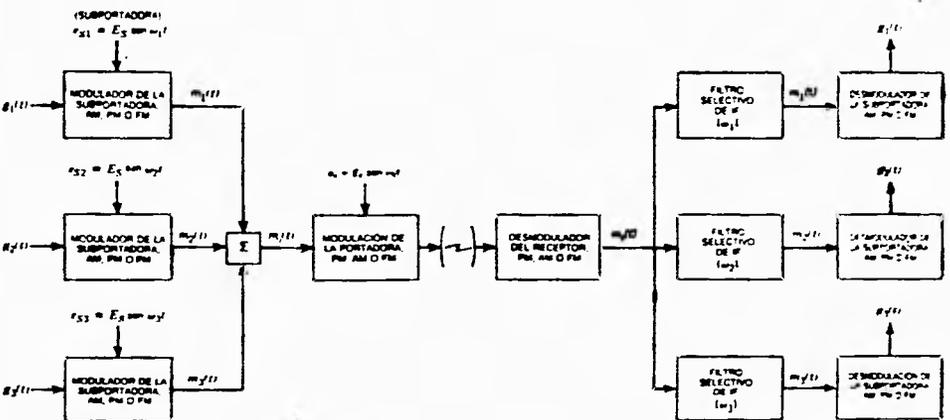


FIGURA 30 Sistema para la transmisión de señales empleando multicanalización por división de frecuencia, diagrama funcional.

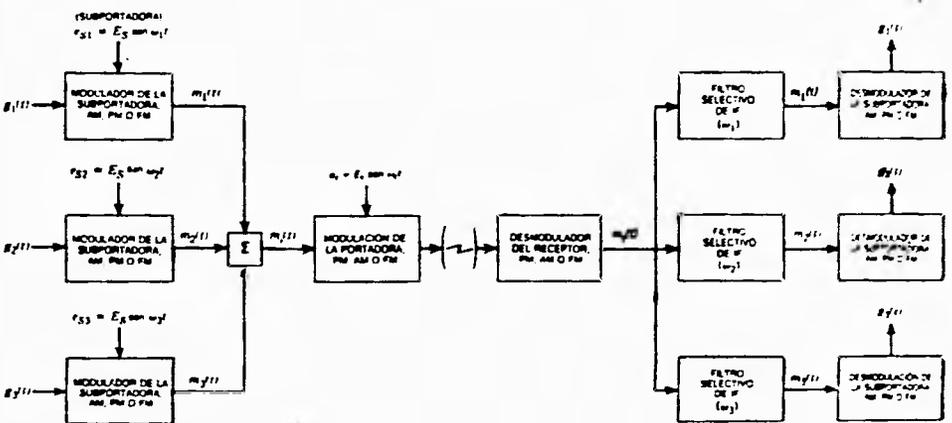


FIGURA 30 Sistema para la transmisión de señales empleando multicanalización por división de frecuencia, diagrama funcional.

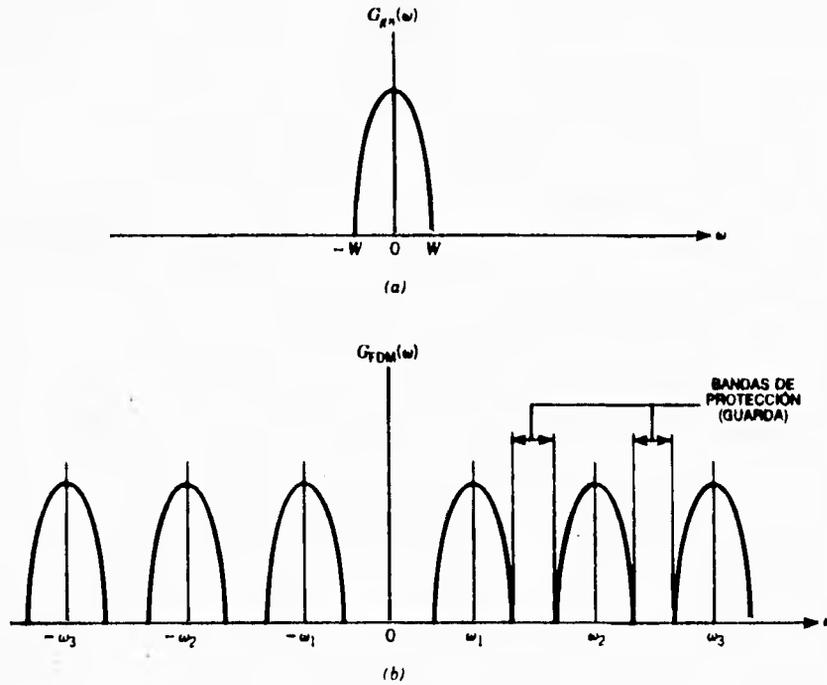


FIGURA 31. Formato típico de cuadros de datos para telemetría por modulación en codificación de pulsos(PCM) para datos de multicanalización por división de tiempo(TDM).

Suponiendo un formato de modulación de subportadora DSBSC, el espectro de la señal de banda base consta de las frecuencias individuales de la subportadora con el espectro correcto de la señal de información trasladado a cada frecuencia de la subportadora. La separación entre las componentes espectrales superiores de la banda lateral del canal uno y las inferiores de la banda lateral del canal dos suele

denominarse banda de guarda o seguridad. Por consiguiente, para que no exista superposición del espectro de la información, la separación requerida entre las frecuencias de la subportadora es $2W$ más la banda de guarda o seguridad.

El espectro combinado de la señal FDM a su vez modula la señal portadora. La modulación de ésta puede ser AM, PM o FM, y para las dos primeras, el espectro de la señal detectada en la banda base se vería como se muestra en la figura 32.

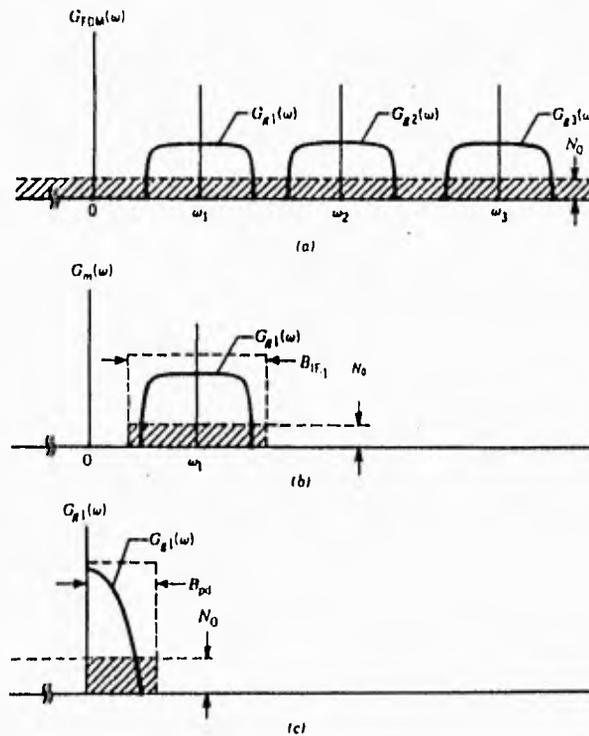


FIGURA 32. Espectros típicos de la señal detectada mediante multicanalización por división de frecuencia (FDM). a) Espectro en la banda base más ruido del sistema, b) Espectro de la señal de salida del filtro pasabanda selectivo, c) Espectro de la señal postdetectada para el canal 1 más el ruido.

En virtud de que el espectro del ruido a la salida del receptor es plano para todas las frecuencias, el empleo de factores iguales de modulación para cada canal de subportadora daría por resultado el mismo rendimiento de señal sobre ruido para cada canal, suponiendo iguales anchos de banda de información. Sin embargo, esto no ocurre para la modulación en frecuencia de la portadora debido a la naturaleza parabólica de la amplitud del ruido de salida del receptor de FM; en la figura 33 se ilustra una señal de salida FDM de un canal FM.

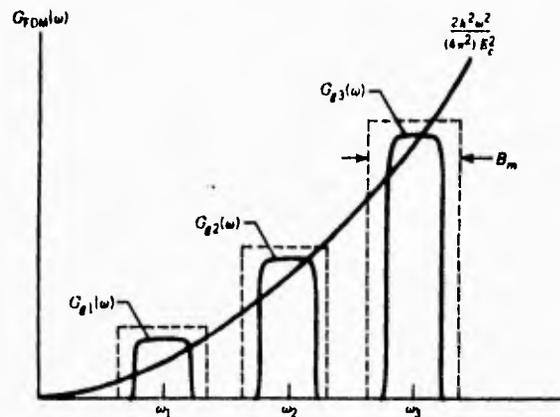


FIGURA 33. Señal de salida multicanalizada por división de frecuencia (FDM) para un canal de comunicación modulado en frecuencia.

Multicanalización por división de tiempo.

En este tipo de multicanalización se combinan señales de información en el dominio del tiempo. Como ya se analizó para la modulación por pulsos, las señales de información pueden muestrearse en el tiempo y reconstruirse en el receptor a partir de las muestras temporales transmitidas. Si varias señales de información se muestrean a diferentes intervalos de tiempo y las señales muestreadas resultantes se combinan por un método sincrónico, entonces la forma de onda temporal se denomina señal

multicanalizada por división de tiempo (TDM). En la figura 34 se ilustra la señalización TDM utilizando técnicas PAM, PDM y PCM.

En la figura 35 se ilustra el muestreo utilizando un interruptor giratorio como conmutador y desconmutador. El proceso requiere que el conmutador y el desconmutador giren sincrónicamente en el tiempo a fin de asegurar que la muestra correcta de la señal de información aparezca en la terminal de salida deseada.

Un método de sincronización de uso común es la reconstrucción de la señal del reloj mediante el sistema receptor, que puede utilizarse para asegurar que el desconmutador gire a la misma velocidad que el conmutador. Sin embargo, además de la coordinación temporal básica establecida por el reloj, debe contarse con alguna forma de identificación del canal, a fin de establecer la localización de un canal de referencia. Esto puede lograrse dedicando un canal del sistema a una señal definitiva o impulso marcador. Cuando se utiliza la modulación de pulsos en código de los formatos TDM, el proceso de conmutación y desconmutación se verifica a través de la formación de cuadros de datos de información. Cada cuadro contiene palabras de datos que se localizan en segmentos de tiempo con respecto a una palabra de sincronización que identifica el inicio del cuadro de datos. Además los cuadros de datos subconmutados pueden incluirse por medio de la identificación de cada cuadro con un contador binario (palabra), en la figura 36 se ilustra un formato típico de cuadro de datos para telemetría (TDM). La frecuencia de muestreo y longitud de palabra del sistema PCM determina la velocidad de transmisión de datos TDM que debe regir en el canal.

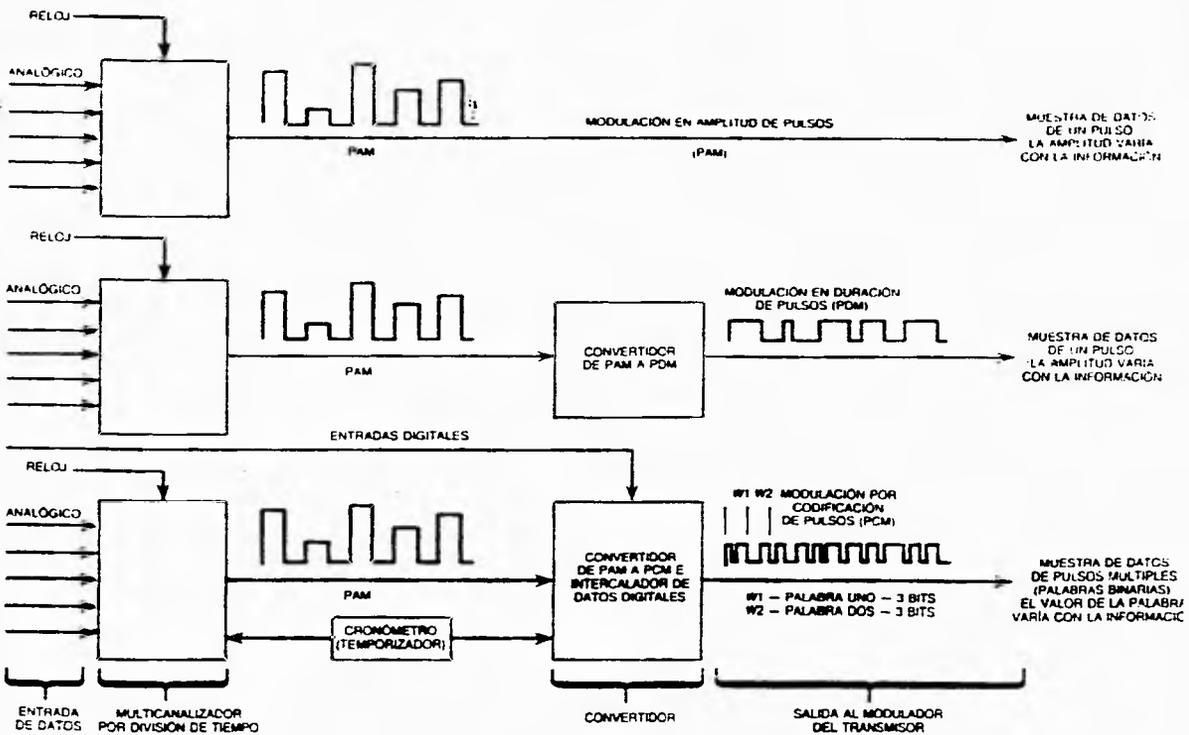


FIGURA 34. Multicanalización por división de tiempo (TDM), diagrama funcional.

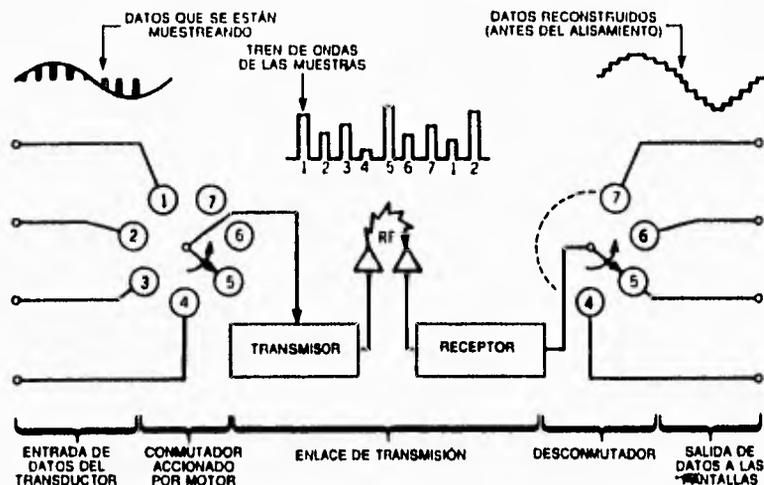


FIGURA 35. Multicanalización por división de tiempo (TDM), en la que se utiliza un interruptor giratorio como conmutador.

Multicanalización por portadora en cuadratura.

Aún cuando no se utiliza tanto como los sistemas FDM y TDM, una señal portadora en cuadratura puede emplearse para la transmisión simultánea de dos canales de información. En la señalización por cuadratura el canal de información es una sola corriente de datos digitales que se reduce en frecuencia en un factor de dos, con la mitad de la información modulada en la componente en fase y la otra mitad en la componente en cuadratura de fase de la portadora. Los datos demodulados de cada componente de la portadora se vuelven a cambiar a fin de obtener la corriente de datos original. La ventaja evidente en este caso es la reducción de velocidad de transmisión de datos, lo que permite que datos de mayor velocidad sean transferidos por un canal de ancho de banda limitado. Sin embargo, no es necesario que ambas entradas se sinteticen una de otra en cualquier sentido. En este caso, las señales en

cuadratura y en fase podrían servir como portadoras por separado de la misma frecuencia para la transmisión simultánea de dos canales de información; en la figura 37 se muestra el esquema funcional de la multicanalización por cuadratura.

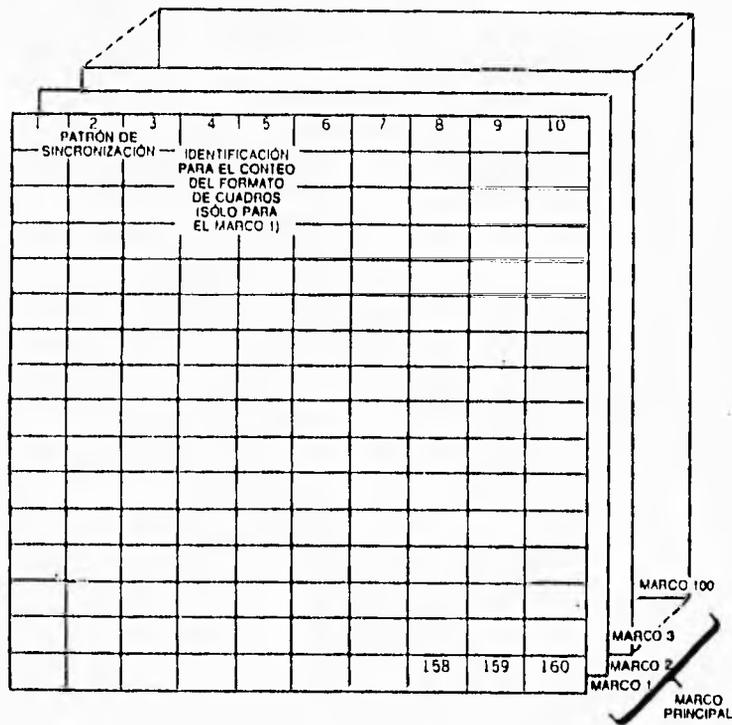


FIGURA 36. Formato típico de cuadros de datos para telemetría por modulación por codificación de pulsos (PCM, para datos de multicanalización por división de tiempo - TDM-).

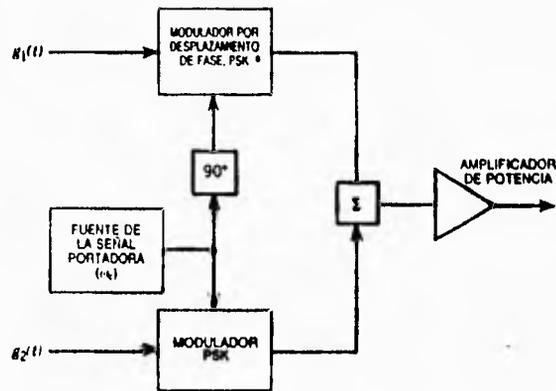
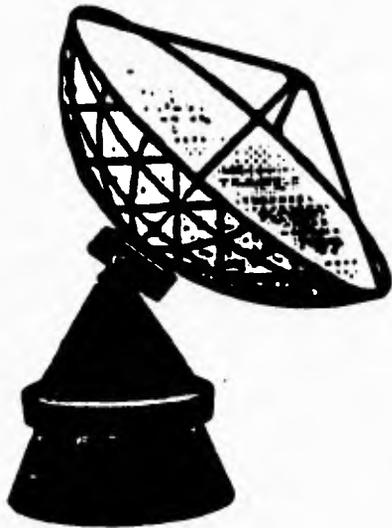


FIGURA 37. Multicanalización por portadora en cuadratura, diagrama funcional.

APENDICE B



B.1 SATELITES

Los satélites para comunicaciones, que actúan como repetidores de radiofrecuencia (RF) en órbita han revolucionado la industria de las telecomunicaciones desde su aparición en la década de los 60's. La mayor parte de los satélites para comunicaciones se encuentran en órbitas geoestacionarias, que son trayectorias circulares en el plano ecuatorial a una altitud de 36 000 Km. El período de la órbita es un día sideral, de modo que el satélite parece estacionario a un observador en la tierra. Desde esta altitud es visible más de la tercera parte de la superficie terrestre.

En la figura 1 se ilustra el empleo de un satélite para la retransmisión de señales a localidades terrestres bastante separadas entre sí, A y B, por medio de enlaces directos de microondas en línea recta entre cada estación y el satélite.

Un sistema de tres satélites geoestacionarios separados entre sí aproximadamente 120° en longitud, proporcionaría una cobertura global e interconectividad total de la Tierra. Entre las características de los satélites para comunicaciones podemos mencionar, un amplio ancho de banda, con fines de elevada capacidad para canales de transmisión de voz, datos y señales de TV digitales; acceso múltiple, de modo que un gran número de usuarios puedan comunicarse por medio del mismo satélite; tráfico con destinos múltiples y de punto a punto; transmisión directa a grandes zonas geográficas; comunicación con usuarios móviles, tales como barcos y aviones; enlaces entre satélites a fin de mejorar la interconectividad del sistema.

Un sistema de comunicaciones por satélite consta de una parte espacial y de una parte terrestre. La parte espacial incluye los satélites activos y de repuesto o reserva.

La parte terrestre incluye las estaciones terrenas (que constituyen nodos de comunicaciones para el sistema) así como estaciones terrenas especiales para telemetría, seguimiento comando y monitoreo (TTC&M - **Telemetry, Tracking, Command and Monitoring**). Estas estaciones se utilizan para controlar la posición orbital del satélite, monitorear su estado físico y volver a configurar sus circuitos en caso necesario. En algunos sistemas la parte terrestre también puede incluir redes de distribución terrenas en las interconexiones con otros sistemas de comunicación.

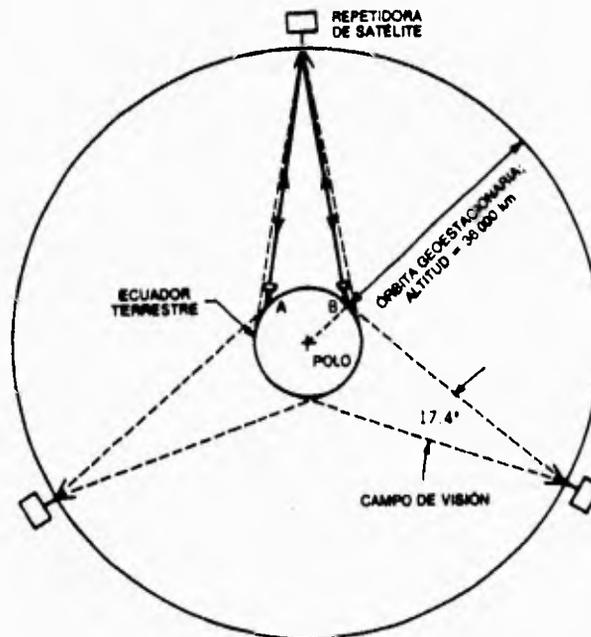


FIGURA 1 Un satélite para comunicaciones es un repetidor de radiofrecuencias en órbita. Tres satélites geoestacionarios pueden cubrir la mayor parte de la superficie de la Tierra

Historia

En 1945, Arthur C. Clarke fue el primero en proponer satélites geoestacionarios para las comunicaciones por todo el mundo. describió los repetidores "activos" o transpondedores, capaces de recibir señales de la tierra y retransmitirlas. J.R. Pierce describió más tarde los conceptos de satélites pasivos y activos para la transmisión de señales. El lanzamiento del SPUTNIK por la Unión Soviética el 4 de Octubre de 1957 y el del EXPLORER I por Estados Unidos el 1º de Enero de 1958, estimularon la actividad espacial. El 12 de Agosto de 1960, el proyecto ECHO dio por resultado el lanzamiento de un globo metalizado al espacio de 30 m de diámetro, para colocarlo en una órbita terrestre con un apogeo (máxima altitud) de 1688 Km. y un período orbital de aproximadamente dos horas. Este reflector pasivo podía retransmitir señales solamente entre antenas terrestres bastante separadas, mientras se encontraba en su campo de visión común. El 10 de Julio de 1962 el TELSTAR, un satélite repetidor activo construido por los Bell Telephone Laboratories de la AT&T, fue lanzado por medio del vehículo Delta Thor de la NASA y puesto en órbita con un apogeo de 5640 Km, un perigeo (mínima altitud) de 949 Km, período de 158 minutos e inclinación de 44.8 ° con respecto al plano del Ecuador. Pesaba 80 Kg, su diámetro era menor de 1 m y podía recibir a 6390 Mhz y retransmitir a 4170 Mhz señales cuyo ancho de banda fuese de 50 Mhz a un nivel de potencia del transmisor de 2 W.

Se utilizó en la primera transmisión internacional en vivo (directo) por televisión.

El período de una órbita geosíncrona (ó síncrona) es un múltiplo (por lo general igual a 1) del período de rotación de la Tierra. Si el plano de la órbita está inclinado con respecto al plano del Ecuador, la trayectoria terrestre del satélite o sea el punto subsatélite, delinea una figura en forma de ocho cuyo desplazamiento máximo en latitud norte-sur es igual a la inclinación orbital en grados. La órbita geoestacionaria

ideal es un caso particular de la órbita geosíncrona con una inclinación de cero grados.

Entonces , el punto subsatélite permanece estacionario sobre el Ecuador.

El SYNCOM I, construido por la Hughes Aircraft Company para la NASA, fue lanzado el 14 de Febrero de 1963, pero debido a la falla de un cohete no alcanzó la órbita que se pretendía. El SYNCOM II, lanzado el 26 de Julio de 1963, logró una órbita síncrona casi perfecta inclinada 33 °, con apogeo y perigeo de 35 887 Km (22 300 millas) y período de 23 horas 55.9 minutos. Recibió señales de enlace ascendente de la Tierra a 7360 Mhz y transmitió a 1815 Mhz. El SYNCOM III, lanzado el 19 de Agosto de 1964 en una órbita geoestacionaria, transmitió con éxito la ceremonia de inauguración de los juegos de la XVIII Olimpiada desde Tokio hasta California.

La Communications Satellite Corporation (COMMSAT - **Corporación de Satélites de Comunicaciones**) fue constituida el 1º de Febrero de 1963 para establecer comunicaciones sobre una base comercial, la COMMSAT fue signataria de Estados Unidos y gerente principal de la International Telecommunications Satellite Organization (INTELSAT - **Organización Internacional de Satélites de Telecomunicaciones**), creada el 20 de Agosto de 1964. Originalmente, esta organización representaba 11 países que deseaban compartir la posesión del segmento espacial, la que consistía en los satélites e instalaciones de la TTC&M, y cual compartirían también la responsabilidad de los acuerdos para un sistema mundial. Cada miembro de la INTELSAT cuenta con sus propias estaciones.

El satélite Early Bird (Pájaro Madrugador, denominado más tarde INTELSAT I) lanzado el 28 de Junio de 1965, demostró la viabilidad comercial de un sistema de

satélites geoestacionarios. Antes de esa fecha se había contemplado un sistema de satélites de mediana altitud (y por tanto no estacionarios), para el cual se requería que las estaciones terrestres contaran con antenas capaces de seguir los satélites de horizonte a horizonte y "trasladarse" de un satélite a otro. Sin embargo, debido a que el sistema geoestacionario ha resultado mucho más rentable, se utilizan satélites de este tipo.

El sistema INTELSAT ha crecido a tal punto que ya sostiene una proporción importante del tráfico internacional de Telecomunicaciones. Actualmente la INTELSAT cuenta con 109 países miembros. Su segmento espacial consta de 13 satélites en órbita geoestacionaria sobre los océanos Atlántico, Indico y Pacífico. El segmento terrestre incluye 834 antenas operacionales en 662 sitios, lo que beneficiaba a 172 usuarios. El sistema proporciona 1318 rutas de comunicaciones entre estaciones terrenas portadoras de más de 35,000 circuitos de voz y datos, así como también tráfico de TV. INTELSAT no es la única entidad internacional de comunicaciones por satélite, ya que en 1971 se creó INTERSPUTNIK con fines de comunicaciones entre varios países del bloque del Este. La capacidad del segmento espacial se renta del satélite geoestacionario soviético GORIZONT.

La International Maritime Satellite Organization (INMARSAT - **Organización Internacional Marítima de Satélites**) se creó en 1979 para atender las comunicaciones móviles internacionales (p. ej., barcos en el mar). También han aparecido muchos sistemas de satélites regionales y domésticos; hoy en día, existen más de 350 satélites activos, en reserva o planificados para la órbita geoestacionaria.

satélites geoestacionarios. Antes de esa fecha se había contemplado un sistema de satélites de mediana altitud (y por tanto no estacionarios), para el cual se requería que las estaciones terrestres contaran con antenas capaces de seguir los satélites de horizonte a horizonte y "trasladarse" de un satélite a otro. Sin embargo, debido a que el sistema geoestacionario ha resultado mucho más rentable, se utilizan satélites de este tipo.

El sistema INTELSAT ha crecido a tal punto que ya sostiene una proporción importante del tráfico internacional de Telecomunicaciones. Actualmente la INTELSAT cuenta con 109 países miembros. Su segmento espacial consta de 13 satélites en órbita geoestacionaria sobre los océanos Atlántico, Indico y Pacífico. El segmento terrestre incluye 834 antenas operacionales en 662 sitios, lo que beneficiaba a 172 usuarios. El sistema proporciona 1318 rutas de comunicaciones entre estaciones terrenas portadoras de más de 35,000 circuitos de voz y datos, así como también tráfico de TV. INTELSAT no es la única entidad internacional de comunicaciones por satélite, ya que en 1971 se creó INTERSPUTNIK con fines de comunicaciones entre varios países del bloque del Este. La capacidad del segmento espacial se renta del satélite geoestacionario soviético GORIZONT.

La International Maritime Satellite Organization (INMARSAT - **Organización Internacional Marítima de Satélites**) se creó en 1979 para atender las comunicaciones móviles internacionales (p. ej., barcos en el mar). También han aparecido muchos sistemas de satélites regionales y domésticos; hoy en día, existen más de 350 satélites activos, en reserva o planificados para la órbita geoestacionaria.

Características del sistema

En la figura 2, se muestran las características principales de un sistema de satélite repetidor de microondas. Una señal de algún usuario terminal, tal como una llamada telefónica, ingresa en una estación terrestre por medio de las instalaciones terrenas.

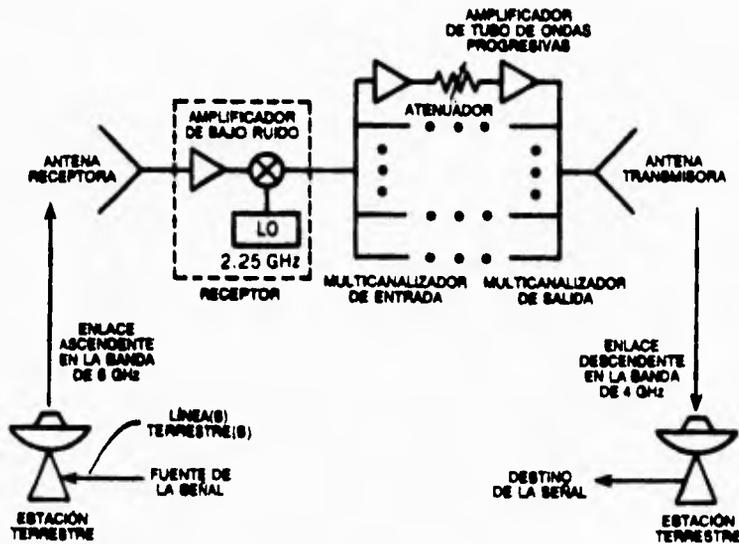


FIGURA 2 Un satélite de "banda C" de acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA). Recibe señales de 6 Ghz en el enlace ascendente y transmite señales de 4 Ghz en el enlace descendente

Ahí puede combinarse con otras señales y estas a su vez modulan una portadora de radiofrecuencia de microondas de enlace ascendente, por ejemplo en 6 GHz. En la tabla 1, se presentan las bandas de frecuencias dominantes asignadas para las comunicaciones por satélite.

Frecuencia del Enlace Descendente (GHz)	Frecuencia del Enlace Ascendente (GHz)	Banda	Usos y sistemas comunes
1.535-1.5425	1.635-1.645	L	Móvil marítimo, INMARSAT, MARISAT
2.5-2.655	2.655-2.69	S	FSS, INSAT móvil, ARABSAT (recepción de la radiodifusión para la comunidad)
3.4-4.8 3.7-4.2 4.5-4.8	5.85-7.075 5.925-6.425	C	FSS, INTELSAT la generalidad de los satélites domésticos
2.25-7.75 10.7-12.7 10.95-11.2 11.45-11.7	7.9-8.4 12.75-13.25	X	Móviles militares, FSS, SBS,
11.7-12.2 12.2-12.7	14.0-14.5 17.3-17.7	Ku	Radiodifusión INTELSAT, SBS, ANIK
17.7-21.2	27.0-31.0	Ka	FSS, ACTS, INTELSAT, JAPAN experimental
40.0-41.0 41.0-43.0 54.25-58.2 59.0-64.0	50.0-51.0	V Q	FSS Radiodifusión Enlace entre satélites

TABLA 1 Lista de las bandas de frecuencia para las comunicaciones por satélite

Para el satélite de "banda C" que se ilustra en la figura 2, la señal del enlace ascendente en la banda de frecuencia de 5925 a 6425 GHz se recibe, amplifica y convierte (traslación lineal) a la banda del enlace descendente que va de 3.7 a 4.2 GHz.

Configuraciones geométricas de órbitas y lanzamientos.

ORBITAS

En las figuras 3 y 4 se ilustra una órbita elíptica general y un sistema de coordenadas geocéntrico, el centro de la Tierra se encuentra en uno de los focos de la elipse, F . Seis elementos describen el movimiento del satélite; excentricidad, e ; longitud del semi-eje mayor, a ; inclinación, i ; ascensión recta del nodo ascendente, Ω ; ángulo (en el plano de la órbita) del eje del perigeo, ω ; y anomalía excéntrica (es decir, ángulo), E . La anomalía verdadera, v , es el ángulo real del eje de perigeo al satélite. La anomalía media, $M = E - e \sin E$, es el ángulo que se recorrería si el satélite se desplazara a su velocidad angular media. En la figura 4 se ilustra la anomalía verdadera v , y la anomalía media E .

La ascensión recta y la declinación (ángulo norte con respecto al plano del ecuador) del satélite pueden calcularse a partir de dichos elementos, y después relacionarse, por medio de fórmulas trigonométricas estandares, con la distancia y los ángulos de azimut y elevación para lugares específicos de la Tierra. Sin embargo, debido a la naturaleza no ideal de las órbitas, el problema práctico de enfocar una estación terrena al satélite podría requerir fórmulas semiempíricas.

La mayor parte de las cantidades de interés para las comunicaciones por satélite pueden obtenerse considerando el caso especial de órbitas circulares con inclinación cero. Entonces, $e = 0$, $i = 0$ y $M = E = v$.

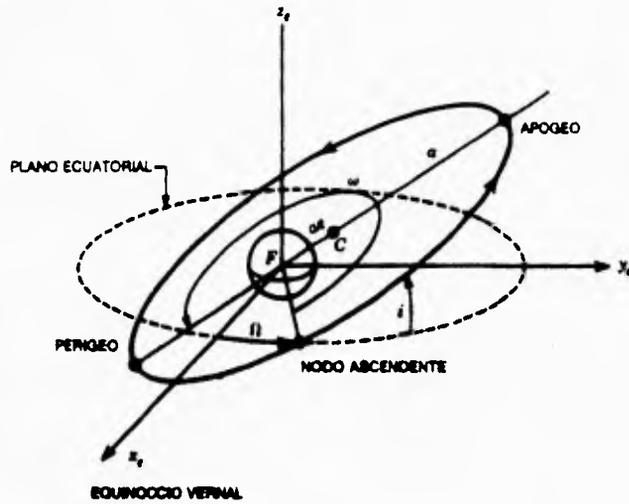


FIGURA 3 Órbita elíptica en un sistema de coordenadas geocéntricas. El centro de la Tierra se encuentra en uno de los focos de la elipse, F . El centro de la elipse es C .

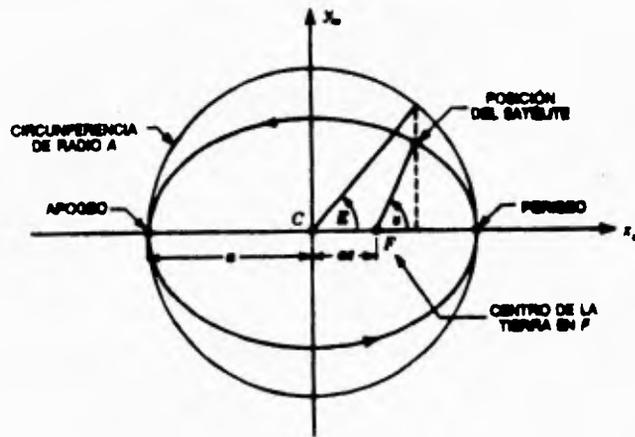


FIGURA 4 Plano de órbitas (X_w, Y_w) en el que se muestran las anomalías verdadera v , y excéntrica E .

Un satélite de masa m que se mueve a una velocidad v en una trayectoria circular con radio r (con respecto al centro de la Tierra) experimenta una fuerza centrífuga mv^2/r igual y en dirección opuesta a la fuerza de atracción gravitacional GMm/r^2 donde $GM = 398\ 601.2 \text{ Km}^3/\text{s}^2$ es el producto de la constante gravitacional G y la masa de la tierra M , y se conoce con mayor exactitud que cualquiera de las cantidades por separado. Igualando las fuerzas, se obtiene:

$$v = (GM/r)^{1/2} = r(2\pi / T)$$

donde el período T de la órbita es el tiempo necesario para recorrer 2π radianes. Para una órbita cuyo período sea un día sideral, $T = 86\ 164.091 \text{ s}$ y se encuentra que el radio de la órbita geosíncrona es $42\ 164.2 \text{ Km}$. El radio normalizado al de la Tierra ($r_e = 6378.153 \text{ Km}$ en el Ecuador) es $r_o = r/r_e = 6.61072$.

En la tabla 2 se resumen las cantidades importantes para las órbitas circulares. Para algunos cálculos de órbitas, por ejemplo para órbitas de transferencia, es útil conocer la velocidad y el período de una órbita elíptica. Dado un satélite a un radio r en órbita elíptica con eje semimayor a , la velocidad está dada por:

$$v = \left[2GM \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{2a} \right) \right]^{1/2} \quad (\text{ec. 1})$$

y el período es:

$$T = \frac{2\pi a^{3/2}}{\sqrt{GM}} \quad (\text{ec. 2})$$

Parámetro	Medida
Radio de la Tierra en el ecuador r_e	$r_e = 6378.153 \text{ Km}$
Masa de la Tierra, M	$M = 5.9734 \times 10^{24} \text{ Kg}$
Constante Gravitacional, G	$G = 6.673 \times 10^{-20} \text{ km}^3/\text{Kg s}^2$
G x masa de la Tierra, GM	$GM = 3.986012 \times 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$
Radio de la órbita (plano del ecuador), r	$r = 42164.2 \text{ Km}$
Radio de la órbita/radio de la Tierra, r/r_e	$r/r_e = r_o = 6.61072$
Altura de la órbita en el ecuador, h	$h = 35786.04 \text{ Km}$ $= 5.61072 \text{ radio de la Tierra}$
Velocidad, $v=(GM/r)^{1/2}$	$v= 3.074662 \text{ Km/s}$
Período, $T= 2\pi r^{3/2}/(GM)$	$T = 86164.091 \text{ s}$
Aceleración, GM/r^2	$GM/r^2=0.2242079 \times 10^{-3} \text{ Km/s}^2$
Velocidad angular, v/r	$v/r = 72.92115 \times 10^{-6} \text{ rad/s}$

TABLA 2 CANTIDADES PARA ÓRBITAS GEOESTACIONARIAS CIRCULARES

Relaciones geométricas y ángulos de dirección

En la figura 5 se presentan las relaciones geométricas de un satélite con respecto a una estación terrena en el punto p cuya latitud es ψ y su longitud este l_e . Para $\gamma = 0$, la órbita normal es en la dirección $+z_e$. El satélite está en el eje x_e a una distancia normalizada $r_o = 6.6107$. La cantidad λ es igual a $l_e - l_s$, donde l_s es la longitud este del punto subsatélite (directamente debajo del satélite). El arco γ es el ángulo esférico entre el punto subsatélite y p . Las relaciones vectoriales entre las coordenadas centradas en la Tierra (x_e, y_e, z_e) y las coordenadas centradas en la nave espacial

(x_s, y_s, z_s) producen la distancia normalizada S , y ángulos de dirección del eje del satélite a una estación terrena:

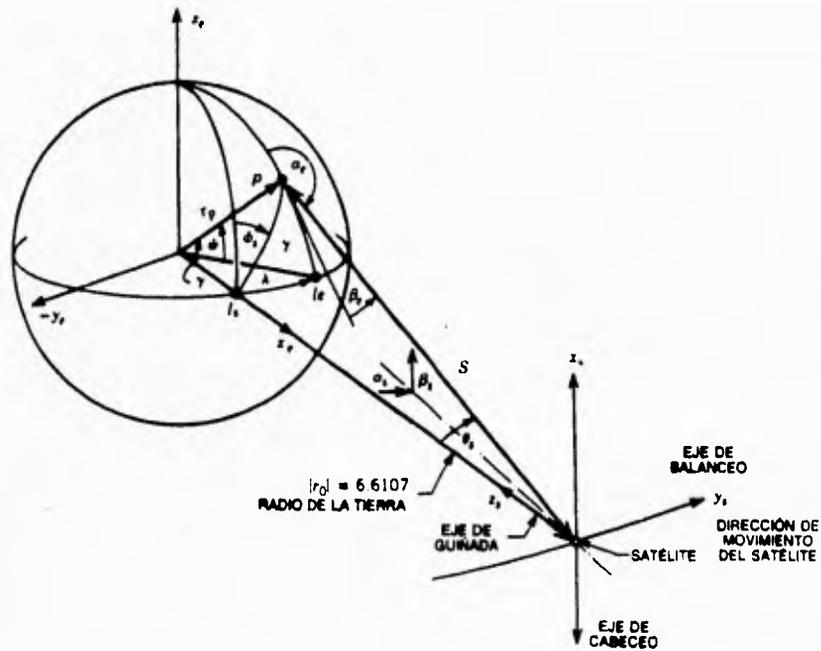


FIGURA 5 Configuración geométrica de órbitas geostacionarias

$$S = |r_s| = \sqrt{(1 + r_0^2 - 2r_0 \cos \Psi \cos \lambda)} \quad (\text{ec. 3})$$

$$\cos \theta_s = \frac{r_0 - \cos \Psi \cos \lambda}{S} \quad (\text{ec. 4})$$

$$\theta_s = \tan^{-1} \frac{\sqrt{(1 - \cos^2 \Psi \cos^2 \lambda)}}{r_0 - \cos \Psi \cos \lambda} \quad (\text{ec. 5})$$

$$\phi_s = \tan^{-1} \frac{\text{sen } \lambda}{\tan \Psi} \quad (\text{ec. 6})$$

$$\alpha_s = \tan^{-1} \frac{\cos \Psi \text{sen } \lambda}{(r_o - \cos \Psi \cos \lambda)} \quad (\text{ec. 7a})$$

$$\beta_s = \text{sen}^{-1} \frac{\text{sen } \Psi}{S} \quad (\text{ec. 8a})$$

$$\beta_s \approx \theta_s \cos \phi_s \quad (\text{ec. 8b})$$

donde (θ_s, ϕ_s) son los ángulos polares de las coordenadas del satélite y (α_e, β_e) son los ángulos de dirección de azimut (este-oeste) y de elevación (norte-sur) del satélite a la estación terrena.

En la figura 6 se ilustran los ángulos de azimut y de elevación de la antena de la estación terrena con respecto al satélite, (α_e, β_e) . El ángulo de azimut, α_e , es el ángulo en sentido de giro a la derecha con respecto al norte que describe el gran arco de circunferencia λ con el meridiano local. Para determinar α_e , primero debe calcularse la cantidad auxiliar A:

$$A = \tan^{-1} \frac{\tan \lambda}{\text{sen } \Psi} \quad (\text{ec. 8c})$$

A continuación se determina el ángulo de azimut por medio de la tabla 3, el ángulo de elevación β , medido con respecto al horizonte local, es $\beta_e = 90^\circ - \lambda - \theta_s$, donde $\cos \gamma = \cos \Psi \cos \lambda$. Se demuestra que:

$$\beta_e = \cos^{-1} (r_o \text{sen } \theta_s) \quad (\text{ec. 9})$$

En la figura 7 se presenta un método gráfico para determinar el azimut y la elevación de la estación terrestre.

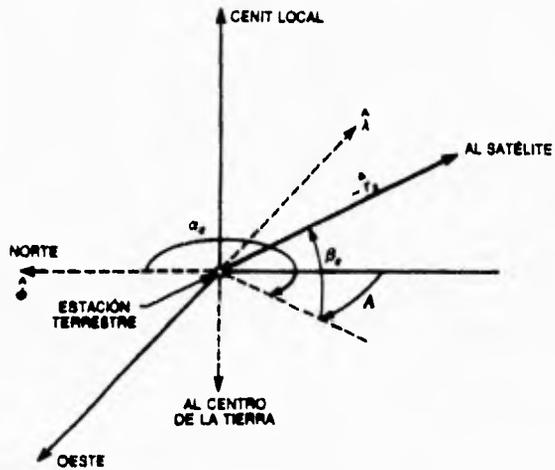


FIGURA 6 Ángulos de azimut y elevación (α_e , β_e) de una estación terrena

Latitud de la estación	Signo de λ ($\lambda = l_e - l_s$)	Azimut (°)
Norte	+	$180^\circ + A^s$
Norte	-	$180^\circ - A$
Sur	-	A
Sur	+	$360^\circ + A$

TABLA 3 Reglas para determinar el azimut

Si es necesario dirigir la estación terrena a lo largo del horizonte a fin de tener acceso al satélite, entonces su ángulo de elevación β_e , es igual a cero. Para este caso un rayo procedente del satélite es tangente a la superficie de la Tierra y el ángulo polar θ_s con respecto al eje del satélite es:

$$\theta_s = \theta_{smax} = \text{sen}^{-1} (1/r_0) = 8.7^\circ \quad (\text{ec.10})$$

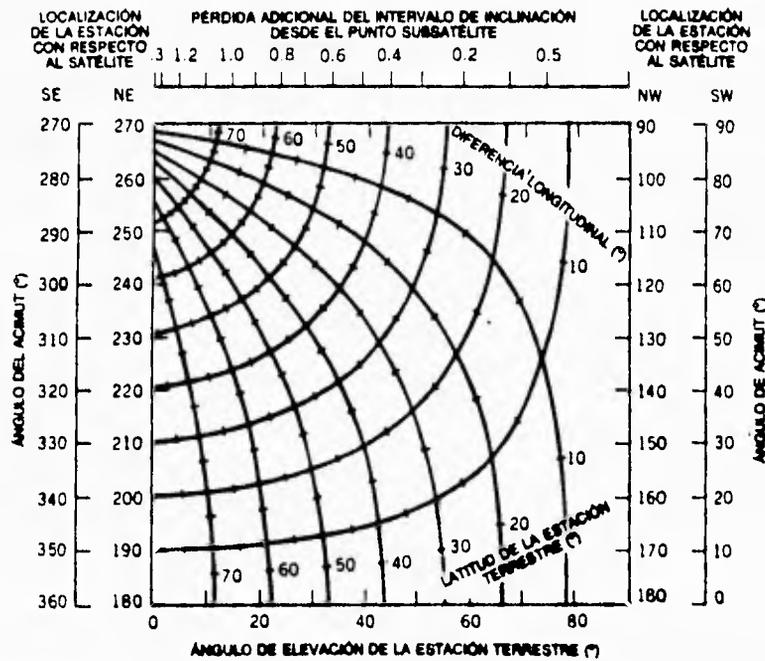


FIGURA 7 Angulos de azimut y elevación de una estación terrestre a un satélite geostacionario

Esto limita la visión de la Tierra a partir de la órbita geostacionaria a un ángulo cónico completo de 17.4° . Debido a que éste es un pequeño campo de vista angular, las expresiones aproximadas para los ángulos de dirección de los vehículos (naves)

espaciales dados en las ecuaciones a y b contienen un error de -0.02° para el caso del "borde de la Tierra". La latitud norte o sur más lejana que es posible observar desde la órbita geoestacionaria es aquella para la cual $\beta_E = 0$ y $\lambda = 0$ y está dada por $90^\circ - \theta_{S\text{máx}} = 81.3^\circ$. Para un satélite geoestacionario, por lo común las estaciones terrenas no suelen operar a ángulos de elevación menores de 5° , debido a la excesiva atenuación atmosférica y al ruido térmico. La longitud de la trayectoria Sre entre el satélite y la estación terrena varía de 36,000 Km para el punto subsatélite hasta 41,680 Km para un punto en el "borde de la Tierra". El retardo del viaje de ida y vuelta para una señal de radio varía entre 240 y 278 ms., si la excentricidad de una órbita elíptica es e, entonces la longitud de la trayectoria variará $\pm e$ (Sre), con una variación correspondiente en el retardo. Esto afecta las transmisiones TDMA.

A fin de proporcionar cobertura del satélite en sus latitudes norte, los satélites Molniya de la Unión Soviética se colocan en una órbita no geosíncrona altamente elíptica con apogeo de 40 000 Km, perigeo de 500 Km e inclinación de la órbita de 63 a 65° . Los satélites tienen un período de 12 horas y el apogeo se coloca por encima de la región que pretende cubrirse, a fin de minimizar el tiempo de visibilidad. Puede demostrarse que para $i = 63.4^\circ$, el plano de la órbita es estable con respecto al potencial gravitacional de la Tierra achatada por los polos.

Orientación

En la figura 5 se esquematizan los ejes de balanceo (R - roll), cabeceo (P - pitch) y guiñada (Y - yaw) de un satélite.

Los puntos en el eje de balanceo se "orientan" en la dirección de movimiento, los puntos en el eje de guiñada "caen" hacia el centro de la Tierra y el eje de cabeceo está dirigido hacia el "sur" paralelo a la normal de la órbita. Estos ejes están rígidamente

fijos al vehículo (nave) espacial. En el caso ideal están alineados con los ejes y_s , $-x_s$ y z_s , respectivamente, pero en la práctica se desvían de éstos por pequeñas cantidades. Si las direcciones del haz de la antena del satélite se mantienen fijas con respecto al cuerpo, entonces variará la dirección a la que señale el haz de la antena.

En la figura 8 se muestra un cuadrante de la Tierra en unidades del ángulo de dirección del satélite, linealizado por medio de las aproximaciones del ángulo pequeño, ecuaciones 7b y 8b, que proporcionan los ángulos de dirección del satélite de azimut y elevación α_s y β_s , respectivamente, para un punto p ; este punto parecerá en movimiento hacia el punto p_3 debido a los errores en R, P e Y. Un error de balanceo provoca que el haz se mueva en la dirección norte-sur, un error de cabeceo provoca un movimiento este-oeste, y un error de guiñada produce una rotación alrededor de los puntos subsatélite; por ejemplo, el campo eléctrico de una onda polarizada linealmente dirigida hacia el punto subsatélite giraría la cantidad de error de guiñada.

Para pequeños errores de R, P e Y, expresados en grados, los cambios en los ángulos de dirección de azimut y elevación serían aproximados por :

$$|\Delta\alpha| \approx P + (Y/57.3)\beta_s \quad (\text{ec. 11})$$

$$|\Delta\beta| \approx R + (Y/57.3)\alpha_s \quad (\text{ec. 12})$$

La localización de p_3 debe calcularse para todas las permutaciones de $\pm R$, $\pm P$, $\pm Y$, y el lugar geométrico de los puntos define el movimiento aparente de p . Cuando se requiere extrema precisión en el enfoque del haz, los desplazamientos exactos deben calcularse mediante el empleo de fórmulas estándares de trigonometría esférica. En la

práctica, los errores no son independientes. Por ejemplo, los errores de guiñada y balanceo se transforman uno en otro cada seis horas (un cuarto del período orbital).

Los errores tienen una parte determinista y una parte aleatoria, y los estadísticos exactos dependen del sistema específico para el control de la orientación o "actitud" utilizado por el satélite. Estos errores de orientación hacen necesario que las coberturas de la antena sean ensanchadas de forma adecuada, a fin de incluir todos los movimientos aparentes de cobertura terrestres.

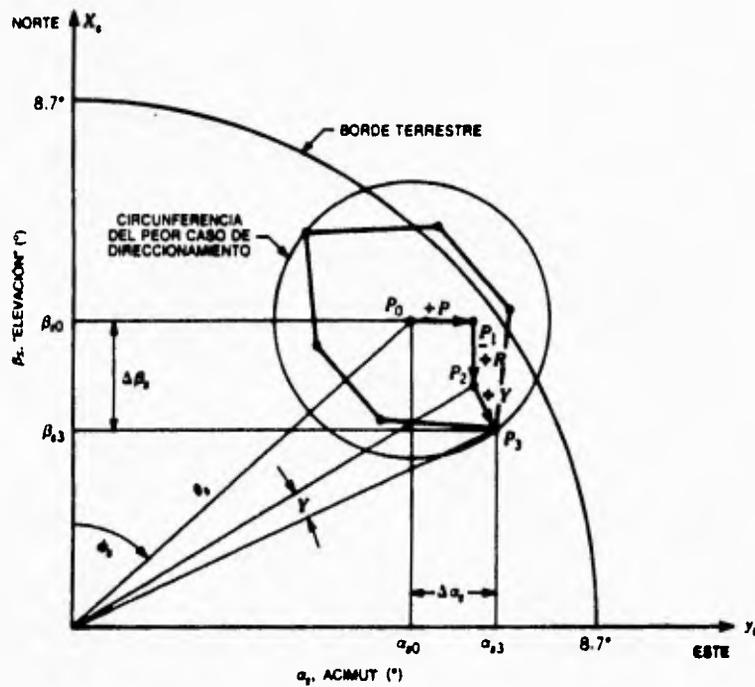


FIGURA 8 Mapa angular de la Tierra, vista desde un satélite

Control de la orientación

Los dos métodos dominantes para la estabilización son la estabilización de giro (*spin*) y la estabilización de tres ejes (figura 9). En una nave (vehículo) con estabilización de giro se utiliza un tambor giratorio, en el cual los ejes de giro y cabeceo están alineados; la razón del momento de inercia alrededor de este eje entre el momento de la inercia alrededor de cualquiera de los demás ejes suele ser de entre 1.1 y 1.3 y la velocidad de giro es de 100 rev/min aproximadamente; el "girador" tiene celdas solares (fotovoltaicas) alrededor de la superficie del tambor, y las antenas no deben girar de frente a la Tierra. En el tipo de giradores de "plataforma sin giro" de la Hughes, como el satélite INTELSAT VI, todo el paquete de RF está fijo (no gira) con respecto al tambor que contiene los demás subsistemas del satélite.

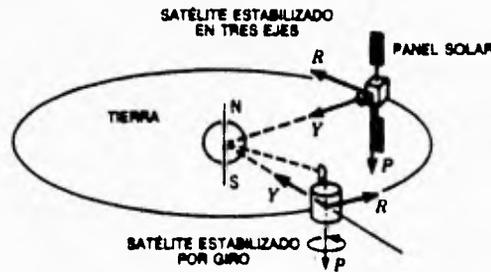


FIGURA 9 Satélites estabilizados por giro y en tres ejes. Para el "girador" la antena de comunicaciones no debe girar con respecto a la superficie de la Tierra

Los demás satélites de tres ejes mantienen la orientación por medio del intercambio de momentos torsionales entre varias ruedas de impulso ("volantes") que giran dentro del cuerpo del satélite. En la mayoría de los casos, las celdas solares tienen la forma de paneles que sobresalen de las caras norte y sur. Estos paneles deben girar a fin de

estar de frente al Sol a medida que el satélite continúa desplazándose en su órbita. El satélite debe tener una rotación de cabeceo programada, a fin de mantener las antenas dirigidas hacia la Tierra conforme el satélite se desplaza alrededor de ésta.

Para ambos tipos de satélites se utilizan detectores de infrarrojo para detectar el borde (limbo) de la Tierra contra el cielo frío. Además, se utilizan detectores de Sol y giroscopios integradores de viraje para afinar la determinación de la orientación o "actitud". El avance tecnológico mejora continuamente el control de orientación y en la actualidad existe un debate relacionado con la estabilización de giro frente a la estabilización de tres ejes. Los sistemas de control de orientación actuales permiten que el balanceo y cabeceo se mantengan en $\pm 0.1^\circ$, y que la guiñada se mantenga a menos de 0.25° para ambos tipos de sistemas. En un girador, los errores de cabeceo pueden corregirse por medio del intercambio de cantidad de movimiento sin consumo de combustible, pero las correcciones de balanceo y guiñada requieren el encendido de los motores de empuje. Para un satélite de tres ejes, el número y orientación de los volantes determinan si es necesario encender los motores cohete de empuje.

Vehículos de lanzamiento y secuencia de lanzamiento.

Los vehículos "desechables" dominantes en la década de los 80's, los cohetes Delta y Ariane; cada uno de ellos disponible con una variedad de opciones. El sistema de Transporte espacial de la NASA (STS - **Space Transportation System**) es un vehículo reutilizable que pone en órbita circular a una nave espacial a una altitud de 296 Km. e inclinación de 28.5° . En la figura 10 se ilustra la secuencia para el satélite INTELSAT VI. El STS se lanza a una órbita terrestre baja. El vehículo o nave es lanzado por el transbordador después de que se ha puesto a girar mecánicamente.

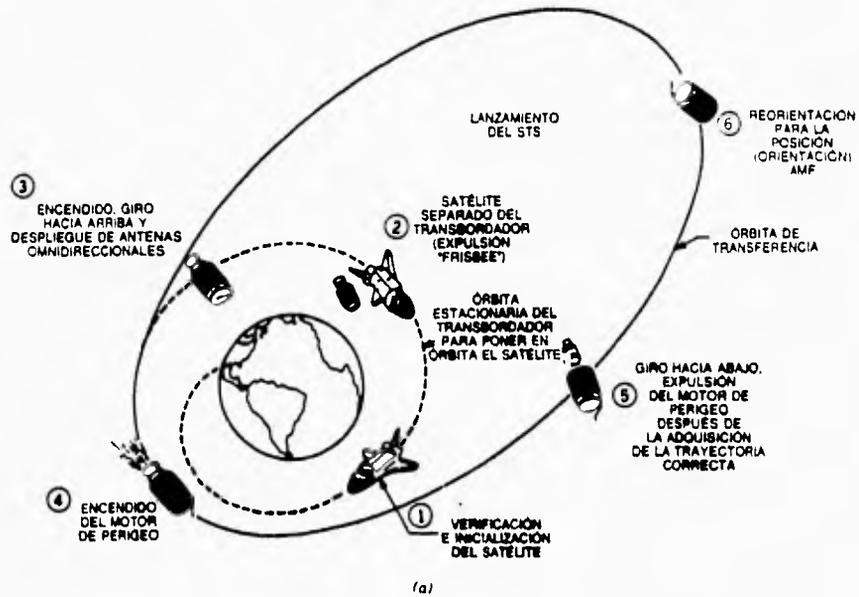


FIGURA 10 Secuencia de lanzamiento del SST (Sistema de Transporte Espacial) con el INTELSAT VI: a) lanzamiento y órbita de transferencia

Una vez que el vehículo se aleja a la deriva del STS, se orienta y se enciende su motor de perigeo a fin de colocarlo en la órbita de transferencia, que es una órbita elíptica con altitud de 296 x 35 786 Km e inclinación de 27° en el apogeo, se enciende el motor de apogeo (AKM - **Apogee Kick Motor**) para circularizar la órbita y aplicar suficiente ΔV a fin de que la inclinación sea igual a 0°.

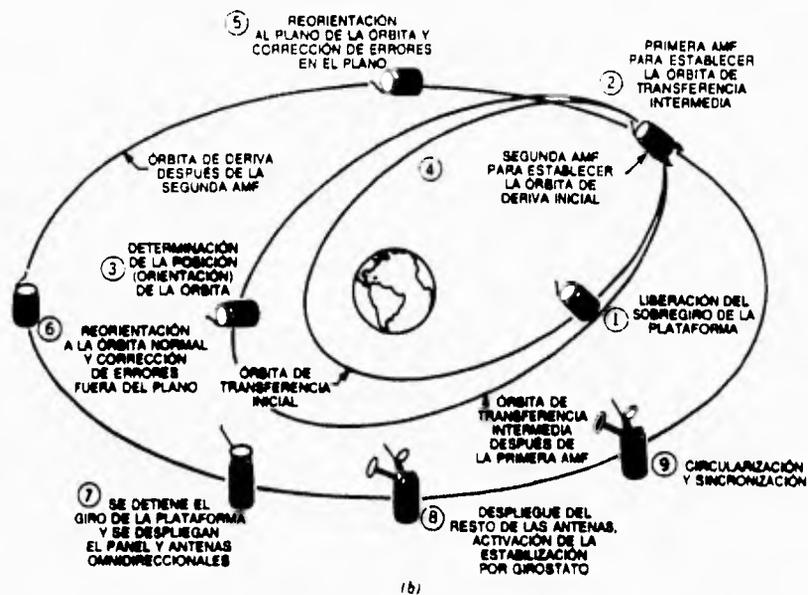
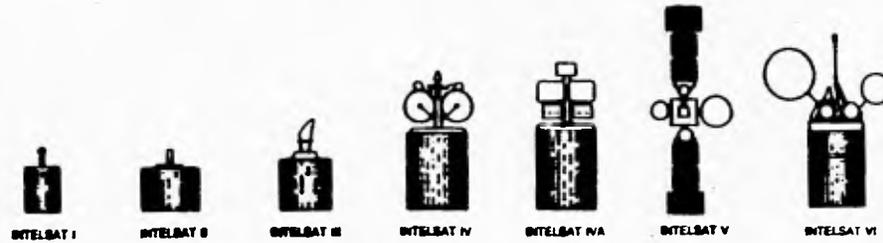


FIGURA 10 Secuencia de lanzamiento del SST con el INTELSAT VI :
 b) órbita de transferencia a órbita geostacionaria

Sistemas de satélites representativos

El rápido crecimiento de los sistemas de satélite está tipificado por los satélites INTELSAT, cuyas características principales se muestran en la figura 11. El INTELSAT I (pájaro madrugador) lanzado en 1965, tenía dos transpondedores de 25 MHz que operaban a 6/4 GHz y las celdas solares en el tambor giratorio producían sólo 40 W de potencia. Cada generación subsecuente representó un crecimiento sustancial en cuanto a potencia y capacidad de canales. El INTELSAT IV tenía doce transpondedores de 36 Mhz, que utilizaban por completo la banda C disponible a 500 MHz. El satélite INTELSAT IV-A fue el primero en emplear la reutilización de frecuencia por medio de haces especialmente aislados, perfilados para cubrir los hemisferios occidental y oriental, según se observa desde la órbita.

FIGURA 11 Satélites INTELSAT y sus especificaciones



	INTELSAT I	INTELSAT II	INTELSAT III	INTELSAT IV	INTELSAT IVA	INTELSAT V	INTELSAT VI
Primer lanzamiento	1965	1967	1968	1971	1975	1980	1986
Dimensiones (cm)							
Diámetro	72.1	142	142	238	238	1 560 (cavergadura)	360 (tambor)
Altura	59.6	67.3	104	282 (tambor) 528 (global)	282 (tambor) 590 (global)	640	1 163 (global)
Masa (kg)							
En el momento del lanzamiento	68	162	293	1 385	1 469	1 928	3 740
En órbita	38	86	152	700	790	1 037	2 225
Vehículo de lanzamiento	Thor-Delta	Mejorada Thor-Delta	De gran tanque Thor-Delta	Atlas Centauro	Atlas Centauro	Atlas Centauro	Ariane-ST5
Potencia primaria (W)	40	75	120	400	500	1 200	2 100
Transpondedores	2	1	2	12	20	27	48
Ancho de banda por transpondedor (MHz)	25	130	225	36	32, 36	40, 80, 240	40, 80, 160
Cobertura	Hemisferio norte	Global	Global	Global, haces puntuales	Global, haces puntuales	Global, regional, haces puntuales	Global, regional, haces puntuales
EIRP (dBW)	11.5	15.5	23	22.5 (global) 33.7 (haz puntual)	22 (global) 29 (haz puntual)	22.29 (4 GHz) 44 (11 GHz)	23.31 (4 GHz) 41.44.4 (11 GHz)
Número de circuitos telefónicos	240 (sin acceso múltiple)	240	1 280	4 000 (promedio)	6 000 (promedio)	12 000	30 000
Duración (años)	1.5	3	5	7	7	7 +	10
Costo anual de los circuitos (\$K)	30	10	2	1	1	0.9	0.5

Esto permitió un incremento del 50% en la capacidad de canales. El INTELSAT V, el primero estabilizado por el cuerpo, reutilizó aún más las bandas de 6/4 GHz mediante la superposición de un haz de zona polarizado ortogonalmente en la parte sur de cada haz de hemisferio. En la figura 12 se pueden observar los componentes primordiales del INTELSAT V.

Como ya se mencionó, en muchos sistemas se utiliza más de un satélite en una zona específica. En el sistema INTELSAT se utilizan varios satélites en la zona del Atlántico, situados sobre el arco orbital desde aproximadamente los 325 hasta los 340° de longitud este. El satélite que interconecta a todos los usuarios se denomina satélite primario. un segundo satélite, que interconecta los sitios de tráfico intenso que deben instalar una segunda antena en la estación terrestre, se denomina satélite de trayectoria principal. Los sistemas de los satélites primario y de trayectoria principal son independientes.

Subsistema de satélites

Los satélites para comunicaciones deben funcionar confiablemente en el ambiente espacial, por lo común durante períodos de 7 a 10 años. Como consecuencia de este requisito, en el diseño de un vehículo espacial deben tomarse en cuenta factores tales como el vacío [especialmente el vacío parcial ($\approx 10^{-6}$ torr) en la órbita de transferencia, donde podría ocurrir descarga disruptiva]; ambiente térmico, que provoca temperaturas extremas de hasta 200°; radiación, incluyendo electrones y protones, que podría dañar los semiconductores y que degrada el rendimiento de las celdas solares; radiación ultravioleta que puede dañar algunos materiales; meteoroides y el campo geomagnético.

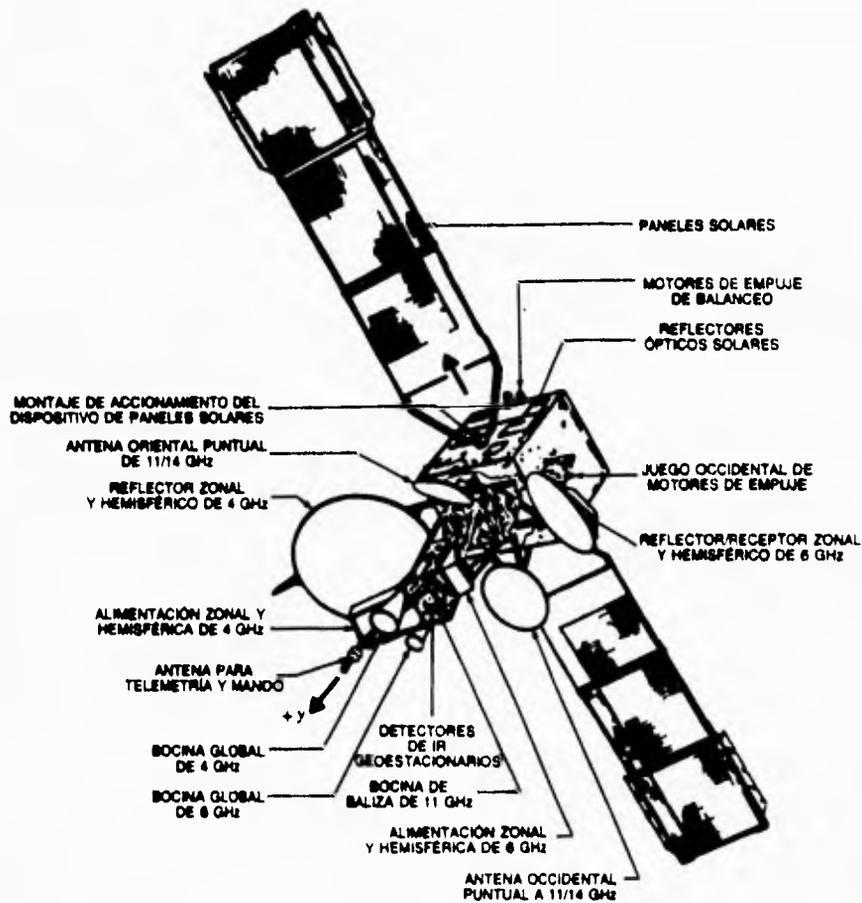


FIGURA 12 El satélite INTELSAT V tiene una longitud total de más de 15 metros.

Los subsistemas más importantes para un satélite se enumeran en la tabla 4 , en la que se indican, para el satélite INTELSAT VI, el porcentaje de masa seca total y el porcentaje de potencia primaria requeridos para cada subsistema .

El subsistema de transpondedores asociado con el de antena, recibe las frecuencias de las portadoras de las estaciones terrenas, las amplifica y las convierte a portadoras descendentes para su retransmisión a las estaciones terrenas.

El subsistema de telemetría y comando está relacionado con la operación de los diferentes equipos en el satélite y el subsistema de control principalmente controla la posición en la órbita del mismo.

Subsistema	Masa (% de 1570 Kg.)	Potencia (% de 2000 W)
Antenas	18	0
Repetidores	19	74
Seguimiento comando y telemetría	3	3
Orientación	5	1
Propulsión	8	1
Energía eléctrica	18	
Dispositivos electrónicos		1
Carga de baterías		13
Pérdidas		3
Incertidumbre de carga		2
Control térmico	4	2
Estructura	17	0
Integración	8	0

TABLA 4 Porcentajes del total de la masa y potencia de los subsistemas del INTELSAT VI

Los amplificadores de salida del transpondedor consumen la mayor parte de la potencia y el subsistema de comunicaciones, que abarca las antenas y dispositivos electrónicos del transpondedor es el que cuenta con un peso más elevado.

Desde el punto de vista del sistema de telecomunicación, la geometría de un satélite puede compararse con la de un sistema de microondas cuyas generalidades se pueden definir de la siguiente forma:

- a) Ambos son sistemas de línea de vista.
- b) Las microondas son paralelas a la superficie de la Tierra.
- c) Las microondas se propagan 100% en la atmósfera y los satélites con bajo porcentaje tienen en consecuencia bajo desvanecimiento.
- d) La sensibilidad con relación a la distancia es menor en microondas, típicamente 50 Km. y en los satélites es esencialmente ilimitada, punto a punto.

Ahora bien, la arquitectura de un satélite puede definirse en forma resumida de la siguiente manera:

- a) Similar a un repetidor de microondas.
- b) Traslada las frecuencias recibidas.
 - 5.9-6.4 GHz---3.7-4.2 GHz (Banda C)
 - 14.0-14.5 GHz---11.7-12.2 GHz (banda Ku)
- c) Amplifica las señales.
- d) Ancho de banda del orden de MHz.
- e) Se divide en transpondedores , típicamente con 36 MHz de ancho de banda.

La función primordial de un satélite es la de un repetidor el cual no cambia la

información recibida, es decir, el contenido de la modulación permanece invariable.

TRANSPONDEDOR

El subsistema del transpondedor incluye el receptor, filtros, conmutadores de redundancia, multicanalizador de entrada, amplificador de salida y todos los conmutadores para las interconexiones idóneas de haces de enlaces ascendentes y descendentes (figura 13).

El transpondedor de un satélite de telecomunicaciones recibe señales de puntos diferentes proporcionando la ganancia (amplificación) y la traslación de frecuencias para luego transmitir las como una sola fuente hacia todas las estaciones del sistema.

Es necesario amplificar las señales recibidas en el satélite debido a las grandes pérdidas de propagación que existen normalmente en el orden de los 200 dB.

Debe tomarse nota que el transpondedor no solo recibe, amplifica y transmite la información a la misma frecuencia, como lo hacen a diferencia de los amplificadores de línea en un sistema de cable coaxial. El desacoplamiento de entrada y salida de las antenas no es tan alto como la ganancia requerida, en el orden de 100 a 200 dB, siendo en consecuencia necesaria la traslación de frecuencias. Esta traslación, conjuntamente con la amplificación se puede realizar por cualquiera de los siguientes métodos, uno es el de conversión simple y el otro de conversión doble o F1.

Transpondedor de conversión simple

Este repetidor usualmente es llamado transpondedor de RF y hasta la fecha ha sido utilizado en los sistemas INTELSAT. En este tipo de transpondedor toda la amplificación se realiza en el rango de frecuencias de entrada y salida, existiendo

únicamente un mezclador, que convierte la frecuencia de entrada directamente a la frecuencia de salida, después de un amplificador de bajo ruido. El ruido del sistema debe poderse determinar por el preamplificador sin ninguna influencia de la figura de ruido de los siguientes subsistemas.

En el diagrama de un receptor de conversión única típico como el que se muestra en la figura 14, podría utilizarse un Amplificador de Bajo Ruido (LNA - Low Noise Amplifier) de banda C, pero los transistores de efecto de campo (FET - Field Effect Transistor) de arsenio de galio, están adquiriendo importancia, especialmente a altas frecuencias. La ganancia del LNA debe ser lo suficientemente alta, (por lo menos de 10 a 15 db), a fin de establecer la temperatura de ruido del sistema. Una ganancia típica global del receptor es de aproximadamente 70 dB, mientras que para un transpondedor de satélite, incluyendo el amplificador de salida, está en un rango de 100 a 130 dB. Dado que la antena del satélite suele estar a unos 300 °K debido a su orientación hacia la Tierra, existe un límite sobre la mejora de G/T, obtenible mediante la reducción del factor de ruido del LNA del satélite. Por el contrario, una estación terrena "ve" casi siempre cielo frío, por lo que la temperatura de su antena es menor y por consiguiente, la temperatura de ruido de su LNA es menor.

Los filtros de RF deben limitar el ancho de banda del ruido del sistema sin distorsionar el espectro de la señal portadora debido a la respuesta de no linealidad de la amplitud y al retardo de grupo. La distorsión por retardo de grupo puede compensarse algunas veces incluyendo un ecualizador en la trayectoria de la señal.

La ganancia resultante de casi 80 dB no puede obtenerse con un solo amplificador. Hasta ahora se han utilizado únicamente amplificadores de tubos de ondas progresivas (TWT) para obtener potencias de 10 a 20 Watts estando su ganancia

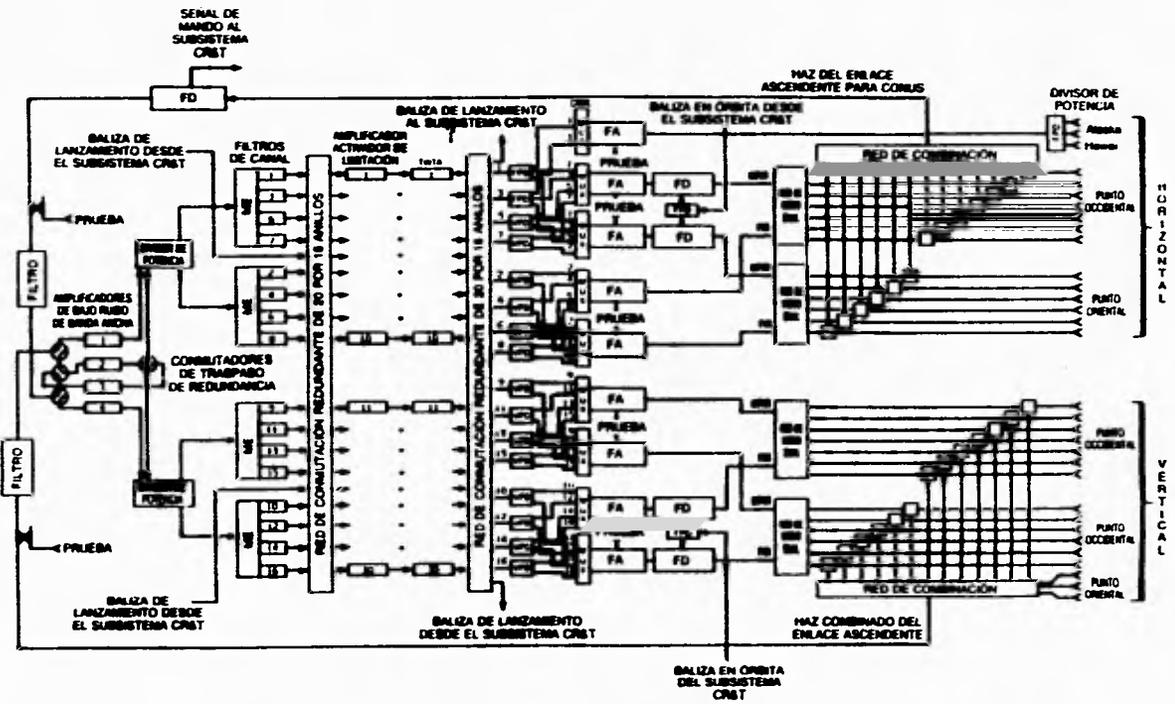


FIGURA 13 Diagrama a bloques del transpondedor del GSTART

limitada de 40 dB a 50 dB. Esto significa que es necesario utilizar otro preamplificador con una ganancia de 40 dB.

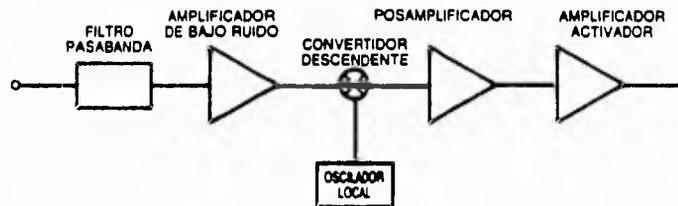


FIGURA 14 Receptor de conversión sencilla.

Típicamente para el amplificador de entrada se utilizan TWT, aunque también se están empleando amplificadores de estado sólido en la banda C. Los TWT están disponibles para muchas de las bandas de frecuencias de interés en las comunicaciones por satélite, y pueden proporcionar un gran intervalo de niveles de potencia de salida. El rendimiento típico de TWT de banda C incluye las eficiencias (DC a RF) del 35 al 45%, potencia de salida de 1 a 15 W, anchos de banda de 1 a 700 Mhz, y ganancias de 30 a 55 dB. Los TWT típicos para satélites en la banda Ku operan entre 20 y 50 W, y en un satélite para transmisión directa se utiliza un TWT de 200 W entre 12.25 y 12.75 Ghz.

Otros parámetros que son necesarios controlar son las salidas espurias del oscilador local (LO - **Local Oscillator**), salidas espurias y trayectorias múltiples de los canales adyacentes en los multicanalizadores, productos de intermodulación en los amplificadores de salida y para portadoras digitales, respuestas transitorias de pulsos.

Los multicanalizadores de entrada y salida constituyen una parte importante del volumen y peso de los transpondedores. Los primeros se basaban en las respuestas

de Tchebycheff, pero la síntesis de los filtros de función elíptica de modo dual prometen una reducción de peso.

Transpondedor de conversión doble.

En este tipo de transpondedor la señal recibida es amplificada con un amplificador de RF de bajo ruido, luego se convierte a una frecuencia intermedia (FI) para después convertirlo a la frecuencia de transmisión. La ventaja principal de este tipo de transpondedor es el poder efectuar la amplificación en el rango de FI, siendo posible utilizar amplificadores de estado sólido de bajo consumo de energía y peso.

Otra ventaja de solución de FI es la posibilidad de utilizar ecualizadores de retardo de grupo y atenuación cuya construcción es mucho más sencilla que en los rangos de radiofrecuencia.

PARAMETROS DEL TRANSPONDEDOR.

En los inicios de las comunicaciones por satélite, la potencia de salida estaba limitada aproximadamente a 10 Watts y el ancho de banda era del orden de 50 MHz. Debido a que la ganancia de las antenas era baja, el PIRE (potencia isotrópicamente radiada equivalente (EIRP - **Equivalent Isotropically Radiated Power**) del satélite era bajo y la relación portadora a ruido en la estación receptora estaba en el nivel de umbral (12 dB). Con el incremento de capacidad en los lanzadores fue posible lanzar satélites con una mayor PIRE ($\text{PIRE (dBm)} = P_{\text{SAL}} [\text{dBm}] + G_{\text{ANT}} [\text{dBm}]$). Otra restricción importante es debida al hecho de que un repetidor no puede transmitir dos portadoras en un sólo canal con el TWT operando a saturación, ya que se originan productos de intermodulación. En accesos múltiple se presenta este problema, si dos o más estaciones terrenas utilizan el mismo transpondedor. Esto significa que si el transpondedor tiene dos canales y más de dos estaciones operando por el mismo, la

potencia de salida del TWT tiene que disminuirse a un valor en el cual los productos de intermodulación sean tolerables.

Debido a este efecto la potencia de entrada al tubo TWT tiene que disminuirse a un valor específico requiriéndose que la estación terrena transmita a una potencia estable.

Este valor de disminución se llama "BACK OFF" y ocasiona la disminución del PIRE del satélite disminuyendo en consecuencia la capacidad en canales.

Otro aspecto importante de los enlaces de satélite es la máxima densidad de potencia de flujo (dBm/m²) permitida, la cual se define en la superficie de la Tierra en el rango de 4 GHz, a fin de proteger los enlaces terrestres. De lo establecido anteriormente se puede concluir que los parámetros fundamentales de un transpondedor son los siguientes.

- Back off (entrada y salida)

- Ancho de banda (GHz)

- Ganancia (dB)

- Potencia de transmisión (dBm)

- Ganancia de antena (dB)

- PIRE (dBm)

SUBSISTEMA DE ANTENA

Las antenas de los satélites han evolucionado hasta llegar a ser un factor importante en el diseño y peso de cada sistema. Esto es esencialmente el resultado de incorporar la reutilización de frecuencia y el perfilado de haces. Este último se ilustra en el diagrama simplificado de la figura 15.

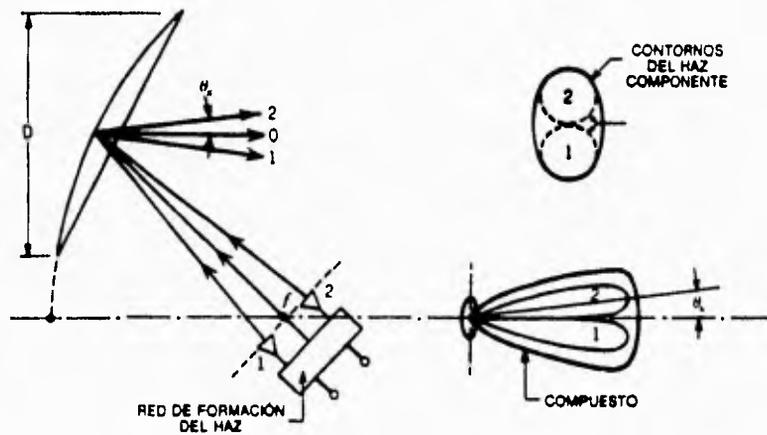


FIGURA 15 Perfilado de haces con dos alimentaciones y un paraboloide descentrado

Cada alimentación desplazada del foco, f , del paraboloide descentrado produce un "haz componente" de exploración con ancho de banda de 3 dB, $\theta_c \approx 65 \lambda/D$, donde D es la abertura proyectada del diámetro. Se utilizan antenas de alimentación desplazada, porque se encuentran libres de bloqueo, lo que podría degradar los lóbulos laterales. Una red de formación de haces, tal como un divisor de potencia, suma coherentemente los haces a fin de formar un haz compuesto, como se muestra en el corte transversal y en la base de un contorno en la figura. Con muchos sistemas

de alimentación es posible construir una gran variedad de configuraciones de haces a fin de conseguir los contornos de cobertura deseados, tales como la frontera de un país. Para una mayor abertura, los haces componentes son más pequeños y se requiere de una mayor cantidad de éstos para llenar la cobertura; con lo que se incrementa la complejidad del equipo, pero también permite un mejor control del patrón.

La mínima ganancia de cobertura está relacionada de forma aproximada con el área de contorno del haz alrededor del contorno de -4 a -85 dB, Ω

$$g = k / \Omega \quad (\text{ec. 13})$$

donde k es típicamente igual a 13000, pero puede variar de 10 000 a 13 000, dependiendo del diseño y del diámetro del reflector.

Para dos haces perfilados que deben estar espacialmente aislados, una regla útil es que la separación de borde a borde, σ grados, que mantiene un aislamiento entre haces de 27 dB entre contornos adyacentes con cobertura de -4 dB, debe ser por lo menos $1.5 \theta_c$. esto implica que:

$$\sigma \approx \frac{100}{(D/\lambda)} \text{grados} \quad (\text{ec.14})$$

La antena de un satélite de telecomunicaciones debe ser de muy bajo peso, tamaño pequeño y con una estructura tal que pueda integrarse fácilmente en el satélite. Los tipos de antena varían en diseño debido a la frecuencia y a la misión del satélite, pero pueden clasificarse ampliamente en dos grupos: Antenas de HF y de VHF para telemetría y comando, y antenas de microondas para comunicaciones. Las antenas de

comunicaciones por satélite pueden clasificarse básicamente en los siguientes tipos en función del patrón de radiación.

Antena omnidireccional

Los primeros satélites podían utilizar sólo antenas omnidireccionales debido a que no tenían plataforma DESPUN y no eran estabilizados en los tres ejes.

La antena omnidireccional tiene un patrón de radiación uniforme en un plano. Si el satélite está rotando en un eje perpendicular a este plano y la Tierra se encuentra en el mismo, se puede obtener una ganancia de algunos dBs con relación a una antena isotrópica. (figura 16)

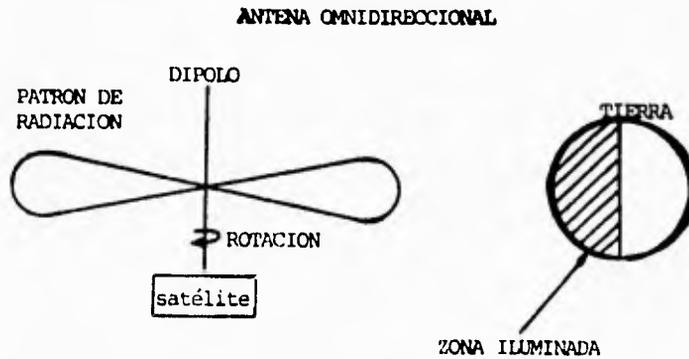


FIGURA 16 Antena Omnidireccional

En esta configuración la potencia generada por el satélite se desperdicia ya que el satélite cubre únicamente 17° de la Tierra y la antena radia 360°. Este hecho hizo

necesaria la creación de una plataforma de contra-rotación (DESPUN) a efecto de poder utilizar antenas direccionales.

Antena Global

La antena global tiene un patrón de radiación que cubre exactamente 17° de la Tierra, lo que significa que casi toda se radía hacia la Tierra. La mayoría de las antenas consisten en una guía de onda tipo cono (horn). Todas las antenas globales se polarizan circularmente cuando se tiene diferente antena para transmitir y recibir, una se polariza en mano derecha y la otra en mano izquierda, a fin de incrementar el desacoplamiento. (figura 17)

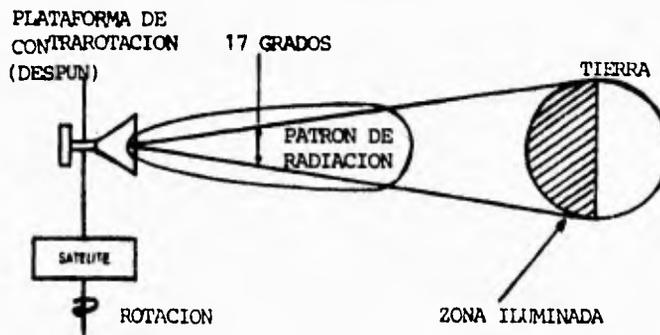


FIGURA 17 Antena Global

Antena pincel (spot beam)

Un factor importante al utilizar antenas pincel es la exactitud de estabilización y además debe poderse cubrir un número suficiente estaciones con alto tráfico. Para el INTELSAT IV se estableció como óptimo un ancho de 4.5° y un error de apuntamiento de +/- 0.5°. (figura 18)

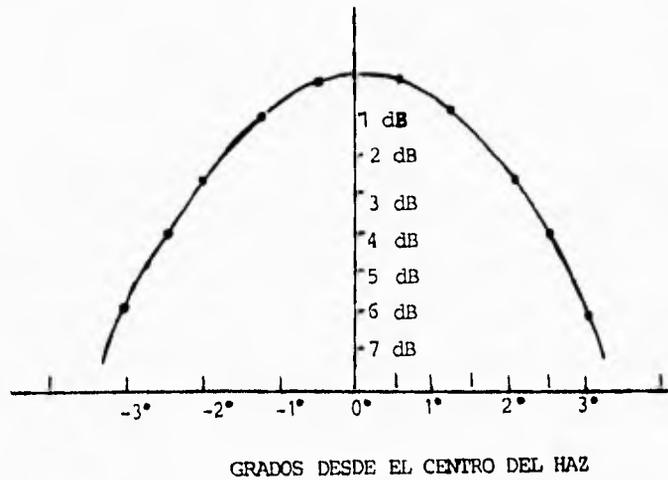


FIGURA 18 Antena Pincel

El diseño de dicha antena es un reflector parabólico alimentado por una bocina de guía de onda.

Subsistemas de estaciones terrenas

Existen varias clases de estaciones terrenas que se han desarrollado conforme a la demanda de servicios, tanto nacionales como internacionales. Las clases principales son:

- Internacional**
- Estandar "A,B,C,D,E"
 - No estandar
 - Domésticas, regionales.

Las estaciones domésticas a su vez se subdividen en:

- Transmisión/recepción
- Recepción solamente

La normalización de las estaciones internacionales en diferentes estandares, la realiza la Organización INTELSAT con el fin de garantizar la mejor y más eficiente utilización del satélite, así como la intercomunicación entre todos los usuarios o propietarios de estaciones. El estandar puede relacionarse con el tamaño de la antena y el tipo de modulación, entre otros factores.

En cuanto a las estaciones domésticas existe una gran variedad dependiendo del tipo de servicios que se desean prestar y a la potencia del satélite usado.

En los sistemas de satélites para radiodifusión directa se utilizan terminales receptoras de tipo casero con antenas parabólicas de menos de 1 m que operan en la banda Ku.

Por su parte, las antenas estandares A, B y C del INTELSAT poseen un intervalo de frecuencias y una relación G/T específicos. Para las antenas estandares A y B de 6/4 Ghz, la relación G/T es:

Estandar A: $G/T \geq 40.7 + 20 \log f/4 \text{ dB/K}$

Estandar B: $G/T \geq 31.7 + 20 \log f/4 \text{ dB/K}$

Para la antena estandard C en la banda Ku, la especificación de G/T es más complicada debido al efecto del ruido atmosférico sobre la temperatura de la antena. Las estaciones INTELSAT deben ecualizar la distorsión por retardo de grupo

producida por el satélite. La ecualización lineal de retardo varía de ± 10 ns/MHz para un ancho de banda de 1.25 Mhz a ± 1 ns/MHz para un ancho de banda de 36 MHz.

Composición

Los principales elementos de una estación terrena de comunicación por satélite son la antena, el receptor de bajo ruido (LNR - **Low Noise Receiver**)/ convertidor descendente, el convertidor ascendente, el (los) amplificador(es) de alta potencia (HPA - **High Power Amplifier**), el equipo terrestre para la comunicación de superficie (GCE - **Ground Communications Equipment**) y el equipo de monitoreo y control, como se muestra en la figura 19

La mayor parte de las antenas de las grandes estaciones terrenas son sistemas Cassegrain, con las superficies reflectora principal y subreflectora configuradas a fin de maximizar la eficiencia de abertura; además muchas grandes estaciones están construidas con sistemas de "guías de onda del haz", que son una serie de espejos que guían la RF desde el subreflector hasta la bocina de alimentación y todo el equipo HPA pueden localizarse al nivel del piso, con lo que se minimizan las pérdidas debidas a corridas de guías de onda entre el HPA y la alimentación. En antenas bien diseñadas se han logrado eficiencias de abertura hasta del 80%.

Los receptores de bajo ruido han sido amplificadores paramétricos enfriados criogénicamente en el sistema INTELSAT, pero ya están siendo sustituidos por amplificadores enfriados por efecto Peltier. Para sistemas más pequeños, se utilizan FET's de GaAs cuyas temperaturas de ruido varían de 70 a 100 °K.

El HPA, ya sea un TWT o un clistrón con potencia hasta de 10 kW, debe ser liberado sustancialmente de la saturación para operar con portadoras múltiples. Para la

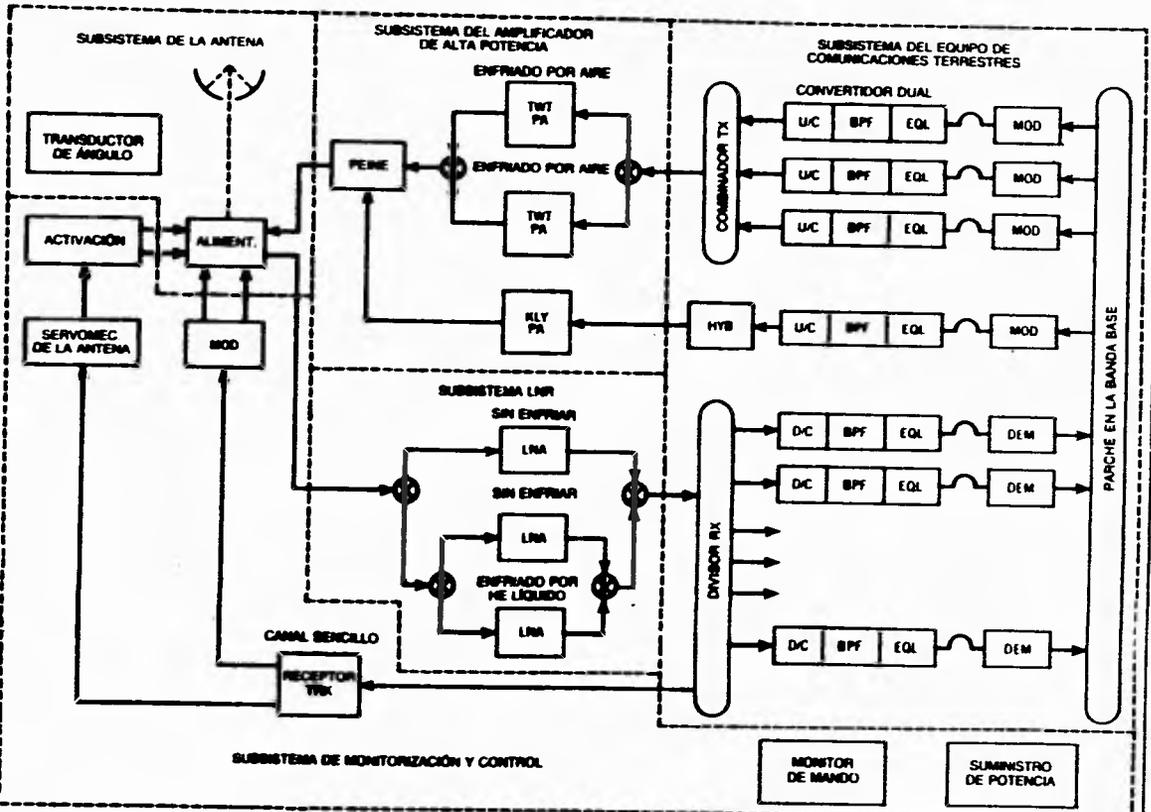


FIGURA 19 Diagrama a bloques de una estación terrestre típica. HPA (Amplificador de alta potencia), GCE (Equipo terrestre de comunicaciones), TWT (Tubo de ondas viajeras), PA (Amplificador de potencia), KLY PA (Amplificador de potencia cistión, LNA (Amplificador de bajo ruido), LNR (Receptor de bajo ruido)

implementación del HPA se utilizan varios amplificadores pequeños y un multicanalizador de salida.

Subsistema de antena

Los diferentes tipos de antenas de comunicaciones pueden clasificarse por su configuración en el sistema de montaje o por el sistema de radiación.

El montaje de la antena se clasifica en tres tipos:

- Azimut - elevación
- X - Y
- Polar

La clasificación de las antenas por el sistema de radiación es :

- Antena bocina - reflector
- Antena parabólica
- Antena Cassegrain

Como se comentó en el párrafo anterior, la antena más empleada en las estaciones terrenas es la Cassegrain con montaje de elevación - azimut , por lo siguiente:

1. Es completamente utilizable con todos los satélites geoestacionarios
2. Las pruebas de transmisión y recepción pueden realizarse fácilmente
3. La ganancia puede medirse rastreando una radio estrella
4. Se puede enclavar en la posición cenital para protegerla de vientos fuertes.

En las comunicaciones por satélite es necesario mantener las pérdidas del alimentador para señales de transmisión y recepción, lo más bajas posible por lo cual es

determinante el lugar donde se instalen los amplificadores de bajo ruido y de potencia. A este efecto, el diseño de las antenas se ha desarrollado de forma tal que los equipos se instalan en la torre que soporta la antena, contrario a los diseños iniciales en los que tanto los LNA como los HPA rotaban junto con la antena.

La característica principal de una antena es su ganancia, la cual es proporcional al tamaño de la antena. Cuanto más grande es ésta, mayor cantidad de señal puede recibir. Sin embargo, el tamaño no es el único factor a considerar, sino también la eficiencia y la sensibilidad al ruido.

Ahora bien, debido a que se opera con señales débiles, idealmente se debería tomar toda la señal que rebota en el reflector, especialmente en las partes periféricas en donde el área es grande. Desafortunadamente esto no es posible ya que las antenas operan en un mundo de ruido térmico. Puede asegurarse que virtualmente, todo lo que se encuentra alrededor de la antena genera señales de microondas. La tierra, el cielo, los edificios, todos producen ruido generado térmicamente que puede ser recibido por el alimentador. Este ruido degrada la señal proveniente del satélite. Si se trata de tomar toda la energía que rebota cerca del borde de la antena se hace el sistema más sensible al ruido que viene de afuera de la antena degradándose con ello aún más la señal. Para optimizar el desempeño del alimentador, se debe controlar el ángulo de recepción de señales del mismo generalmente mediante "anillos choke" en la boca del alimentador. Por supuesto esto también reduce la toma de señales cerca del borde de la antena disminuyendo la eficiencia de la misma.

El desempeño óptimo se obtiene con una eficiencia de antena del orden de 55 %. Al incrementar la eficiencia se incrementa el ruido y en consecuencia el desempeño total se degrada.

B.2. TIPOS DE ACCESO

Los sistemas de comunicaciones usados para las comunicaciones por satélite proporcionan una aplicación importante tecnológicamente significativa tanto de las técnicas de modulación como de la banda base. Además, debido a las grandes distancias a que están situados los satélites, han tenido que desarrollarse nuevos métodos para lograr la entrada al sistema del satélite, lo que se llama *método de acceso*.

Varios modos de acceso al satélite se encuentran en uso. El procedimiento más común es el acceso múltiple por división de frecuencia (**FDMA - Frequency Division Multiple Access**), aunque ya se están utilizando sistemas de acceso múltiple por división de tiempo (**TDMA - Time Division Multiple Access**).

Para el FDMA, a los usuarios se les asigna una única frecuencia portadora. Los "usuarios" son estaciones terrenas capaces de multicanalizar por división de frecuencia (FDM) muchos canales individuales de voz en una portadora común; por ejemplo, para el tráfico telefónico multicanalizado. Estas señales pueden modular la frecuencia de una portadora y cada portadora define un acceso. Con la FM, este esquema se denomina FDM-FM-FDMA. La eficiencia de utilización del transpondedor, en canales de voz por transpondedor, decrece a medida que aumenta el número de accesos. Para una simple portadora, el tubo de onda progresiva (**TWT - Traveling Wave Tube**) del satélite puede operarse cerca de la saturación, maximizando la potencia para cada canal de voz. A medida que aumenta el número de portadoras en el transpondedor, cada una contiene menos canales de voz. También el espectro de cada portadora es aproximadamente gaussiano y debe haber alguna banda de guarda entre ellas. Además, el amplificador del satélite debe ser liberado de la saturación a fin de evitar los productos de intermodulación entre las portadoras.

Un efecto común es reducir el número de canales de voz por transpondedor de 36 MHz, desde 1000 para una sola portadora de banda amplia hasta aproximadamente 400 para 15 portadoras. Un transpondedor de 36 MHz por lo general portaría un canal de TV, pero en algunos sistemas hay dos canales por transpondedor.

La modulación digital ofrece la posibilidad de utilización mejorada. Es posible concebir varias combinaciones de multicanalización, modulación y acceso. Por ejemplo, una señal de la banda base puede modularse por codificación de pulsos (PCM) y multicanalizarse por división de tiempo (TDM) con otras señales, que a su vez pueden modular por defasamiento (PSK) una portadora de RF en un sistema TDMA. El esquema global se denominaría PCM-TDM-PSK-TDMA. Este esquema específico ofrece una alta utilización que no se degrada significativamente a medida que aumenta el número de accesos. En el método de un solo canal por portadora (SCPC - **Single Channel Per Carrier**) se asigna un canal de voz por portadora. Así se codifican típicamente, por ejemplo, 8 bits a una velocidad de 8 Kbps para una velocidad de 64Kbps por canal. El método SCPC permite una eficiencia de utilización constante.

Para sistemas analógicos, la fidelidad de la señal es la medida del rendimiento y está relacionada con la razón de señal sobre ruido demodulada. Para la FM, la relación de portadora de RF sobre ruido total típicamente debe ser mayor de 13 dB para una buena calidad de sonido. En la figura 20 se ilustra conceptualmente el TDMA usando el satélite. Desde distintas estaciones se envían ráfagas de tráfico, en segmentos de tiempo preasignados. A las ráfagas se les asigna un segmento de tiempo específico y el satélite las retransmite a la Tierra en su orden preescrito.

Otra técnica que se ha introducido para manejar situaciones de poco tráfico, es la llamada **Acceso Múltiple de Asignación de Demanda (DAMA)**. En este caso las

bandas de frecuencias se asignan, según la demanda, de entre un grupo de bandas disponibles, a las estaciones que las estén requiriendo. Al contrario de FDMA, donde los canales desocupados van sin usarse, en la técnica de asignación por demanda todos los canales están disponibles para todas las estaciones. (Cuando se trata de una situación de tráfico denso, esto no es necesario, ya que un canal asignado rara vez se encuentra ocioso.) La tercera técnica de acceso usada en las comunicaciones por satélite es la de **Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA)**, donde las diversas estaciones tienen asignados espacios de tiempo durante los cuales pueden transmitir.

Es evidente que en este caso se requiere de la sincronización global de los relojes de las estaciones.

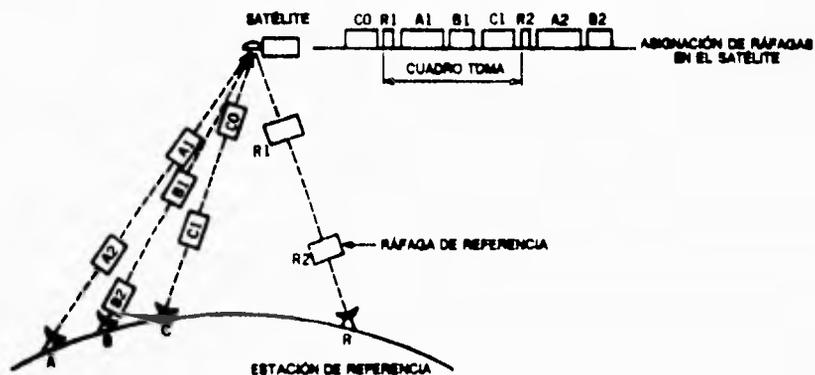


FIGURA 20 Configuración básica de un sistema de acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)

Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA).

En este esquema, se mantienen "conexiones" fijas entre pares de estaciones terrenas de países. Estas conexiones constan de un grupo de espacios de frecuencia dedicados de 4KHz o canales de voz.

El número de tales canales asignados a cada par de estaciones terrenas en particular depende de las necesidades de tráfico de cada par. La técnica FDMA se describirá en términos de un ejemplo. En este ejemplo (figura 21), un país en específico, A, tiene asignados sesenta canales de 4KHz, divididos en partes iguales entre otros cinco países, B, C, D, E y F. Los 12 canales asignados a cada país están multicanalizados en frecuencia para formar la señal de banda base de 252 KHz compuesta de 60 canales.

Esta señal de banda base modula en frecuencia una portadora con una frecuencia asignada de 6.235 GHz para producir la señal de FM de 5 MHz de ancho de banda. En este ejemplo, se supone que otros seis países tienen acceso al mismo transpondedor.

En este caso, uno de los países tiene asignados 132 canales, con un ancho de banda de FM de 10 MHz; un segundo país tiene una asignación de 96 canales con un ancho de banda de 7.5 MHz; un tercero tiene, al igual que el país A, una asignación de 60 canales; y los restantes tienen 24 canales asignados con un ancho de banda de 2.5 MHz cada uno. Para completar la transmisión, las señales de enlace hacia el satélite a 6 GHz se retransmiten a frecuencias específicas del intervalo correspondiente al enlace hacia tierra de 4 GHz. Las estaciones receptoras seleccionan la(s) banda(s) de frecuencias que contienen los canales dirigidos a sus suscriptores, utilizan receptores de FM para demodular la banda base multicanal apropiada y posteriormente demulticanalizan los canales individuales de 4 KHz.

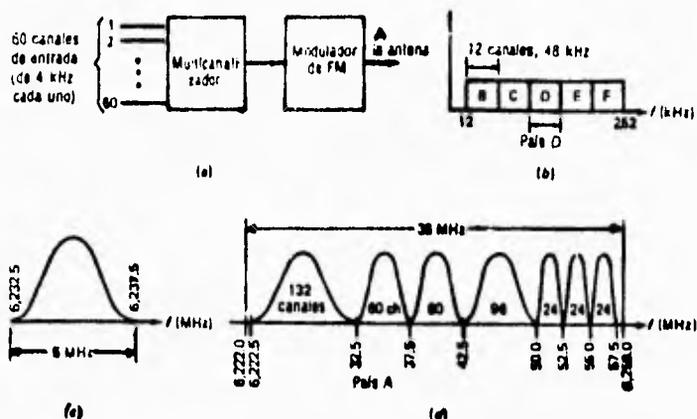


FIGURA 21 Generación típica de FDMA, para transpondedor a) Generación de FDM/FM, estación terrena, b) Salida del multicanalizador, distribución de frecuencias, c) Salida de FDM/FM, d) Espectro compuesto de FDMA, en el transpondedor.

El acceso múltiple por división de frecuencia con multiplexaje por división de frecuencia en FM es abreviado FDM/FM/FDMA. En este método una estación terrena es permanentemente asignada a una portadora de frecuencia (o varias portadoras en frecuencia para una estación ocupada), así como al ancho de banda de ésta. La frecuencia de la estación modula todo su tráfico de salida cualquiera que sea el destino en esta portadora.

La capacidad de tráfico de una estación de origen es limitada por su ancho de banda asignado y el C/N (Razón de Portadora a Ruido - Carrier-to-Noise Ratio) que este pueda lograr en los enlaces de bajada. Las frecuencias portadoras y el ancho de banda asignado a todas las estaciones terrenas constituye el plan de frecuencias del satélite, en la figura 22 se muestra un ejemplo.

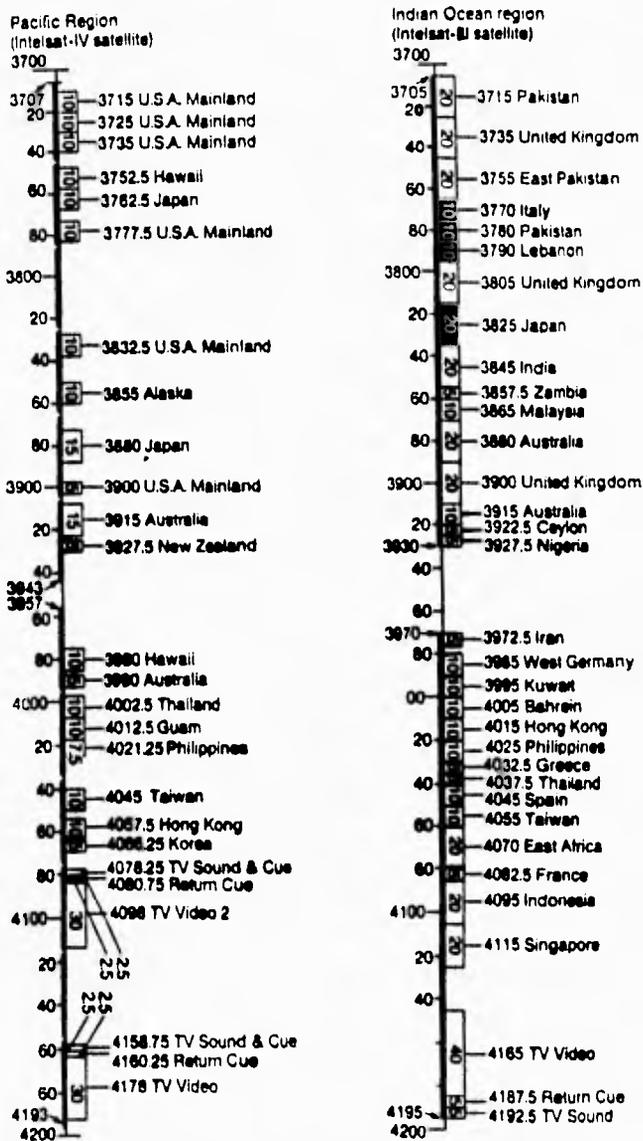


FIGURA 22 Plan de frecuencias típicas para FDMA

Cada estación que opera en una red FDM/FM/FDMA debe estar disponible para recibir al menos una portadora de todas las estaciones en la red. Así la mayoría de las estaciones terrenas FDM/FM/FDMA tienen un gran número de demultiplexores y de receptores separados de FI .

El satélite FDM/FM/FDMA fue diseñado después de los sistemas de telefonía analógica terrestre de microondas y transmisión por cable y utilizado en los primeros días del sistema INTELSAT.

Cálculo de la razón total de portadora a ruido en un enlace FDM/FM/FDMA

En esta sección asumiremos que el ancho de banda disponible es fijo y mostraremos como $(C/N)_i$ es influenciado por el esquema de acceso múltiple .

La razón total $(C/N)_i$ de un enlace satelital esta dado por

$$(C/N)_i = \frac{1}{\frac{1}{(C/N)_u} + \frac{1}{(C/N)_D} + \frac{1}{(C/N)_i}} \quad (\text{ec.15})$$

Aquí $(C/N)_U$, $(C/N)_D$ y $(C/N)_i$ son razones numéricas (no decibeles) de portadora a ruido para los enlaces de subida, de bajada y el proceso de intermodulación.

El valor de decibel de $(C/N)_U$ está dado por:

$$(C/N)_u(\text{dB}) = F_s + (G/T)_s - 10 \log_{10} \left(\frac{4\pi}{\lambda^2} \right) - 10 \log_{10} k - 10 \log_{10} (B_{IF}) - B_0(\text{dB}) \quad (\text{ec. 16})$$

donde F_s es la densidad de flujo en saturación de una portadora simple en el centro beam que la estación terrena transmisora puede estar realizando al satélite en dBW/m^2 .

La cantidad BO ; es el backoff de entrada en dB, esto es, la diferencia en dB entre el enlace de subida y la densidad de flujo en saturación de una portadora simple que la estación terrena transmisora pudiera efectuar al satélite y la densidad de flujo de la multiportadora que está actualmente en uso

En otras palabras la densidad de flujo al satélite está dada por :

$$F(\text{dBW} / \text{m}^2) = F_s(\text{dBW} / \text{m}^2) - BO(\text{dB}) \quad (\text{ec. 17})$$

La figura 23 muestra la característica entrada - salida de un TWT. El TWT produce el llamado punto de saturación el cual es la máxima potencia de salida, pero en saturación el TWT está operando en la región no lineal de su característica; la potencia de salida no está linealmente relacionada a la potencia de entrada. Así los componentes de frecuencia que no estuvieron en la entrada del TWT aparecen en la salida.

Las operaciones no lineales conducen a la creación de productos de intermodulación (IM) y distorsión de intermodulación. Esto es particularmente serio cuando dos o más portadoras están presentes; los productos de IM pueden parecer que cubren el espectro de las portadoras originales moduladas en la entrada.

El único camino para reducir la distorsión de IM en un TWT dado es disminuir el nivel de la señal de entrada; así el tubo puede operar en una región más lineal.

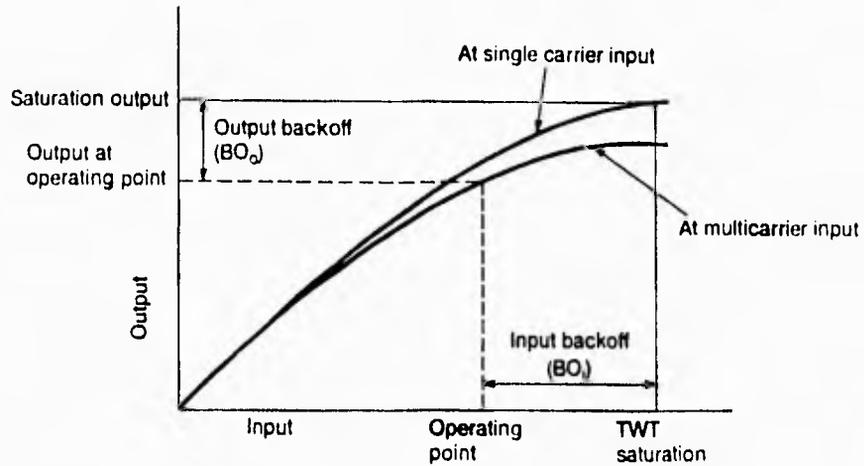


FIGURA 23 Características típicas de un tubo de onda viajera (TWT)

Para una portadora dada, la diferencia en decibeles entre el nivel de potencia de entrada de una portadora simple en saturación y el nivel de potencia de entrada para esta portadora en particular en una operación multiportadora FDMA es el backoff de entrada BO_i . La figura 23 ilustra cómo es medido.

Debido a que el TWT es no lineal, la reducción de la potencia de entrada con BO_i dB provoca una reducción en la potencia de salida que es más pequeña que BO_i . Esto es llamado el backoff de salida, BO_o .

$(C/N)_D$ es la razón de portadora a ruido que pudiera llevarse a cabo en el enlace de bajada si el satélite estuviera radiando una señal pura, eso es, si el transpondedor no

estuviera transmitiendo entradas e internamente generando ruido térmico y productos de IM. Y está dado por:

$$(C/N)_D = \text{PIRE}_s - L_p + (G/T)_E - 10 \log k - 10 \log_{10}(B_{IF}) - B_0 \text{ dB} \quad (\text{ec. 18})$$

donde PIRE_s es el PIRE satelital para una operación de portadora simple saturada, L_p es la pérdida total de trayectoria y $(G/T)_E$ es la figura de mérito de la estación terrena.

El término $(C/N)_I$ está incluido en la ecuación 15 para incorporar los efectos de distorsión de IM en la razón total de portadora a ruido del enlace FDM/FM/FDMA. Para una distribución dada de portadoras en un transpondedor, $(C/N)_I$ en decibetes se decrementa casi linealmente con la potencia de salida en dB del TWT. Ver figura 24.

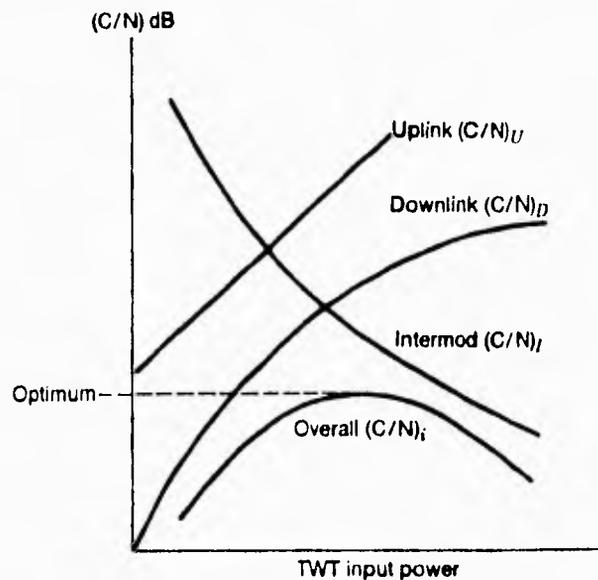


FIGURA 24 Trade offs de la portadora a ruido (C/N) como una función de la potencia de entrada al amplificador TWT del transpondedor.

Este es calculado por la ecuación de la forma

$$(C/N)_k = (C/N)_{IS} + BO_{dB} \quad (\text{ec. 19})$$

donde $(C/N)_{IS}$ es el valor de $(C/N)_i$ para una distribución de portadora dada cuando el TWT está operando en saturación. El valor de $(C/N)_{IS}$ utilizado depende del TWT y del plan de frecuencias envuelto.

Acceso múltiple asignado por demanda (DAMA)

El sistema FDMA descrito en los párrafos anteriores establece conexiones permanentes o de canales fijos entre los países que tienen acceso. Esto proporciona una manera eficiente de mantener las comunicaciones entre las estaciones de tierra que están frecuentemente en comunicación con otras. Ese esquema se hace menos eficiente en los casos en donde el tráfico entre las estaciones terrenas puede considerarse como ligero o moderado. Esto significa que se dispone de comodidades relativamente escasas para satisfacer las situaciones de poca carga de tráfico. En estos casos, es menos efectivo y menos costoso proporcionar los canales (conexiones entre las estaciones) con base en la asignación por demanda. Las asignaciones por demanda se convierten de hecho en una necesidad a medida que el número de posibles conexiones aumenta. Considérese un simple ejemplo de 50 estaciones terrenas tratando de comunicarse entre sí a través del mismo satélite. Se tienen: $50 \times 49/2 = 1225$ posibles conexiones entre estaciones que pueden efectuarse. Con los 12 transpondedores empleados de una manera relativamente eficiente, se dispone de 5000 a 10000 canales de voz para satisfacer estas conexiones. Lo cual significa que solamente de 4 a 8 canales pueden quedar disponibles entre los pares de estaciones terrenas. A medida que el número de posibles conexiones aumenta (para 100 estaciones terrenas se puede disponer de 4900 posibles conexiones), el problema

se hace más grave. No hay otra solución que llegar a alguna forma de esquema de asignación por demanda de las conexiones.

Este problema de proporcionar las conexiones adecuadas no es obviamente nuevo. En lugar de proporcionar conexiones permanentes entre todos los posibles usuarios, las conexiones se realizan sólo cuando es necesario.

S.C.P.C PUNTO A PUNTO

Históricamente, las primeras comunicaciones realizadas empleando satélites de comunicaciones fueron usando la técnica de acceso denominada "**Single Channel Per Carrier**" o más conocida por su abreviación S.C.P.C. En este tipo de enlaces se asigna en el transpondedor satelital, un par de portadoras por cada dos estaciones que requieren comunicación. Se necesitan dos portadoras para establecer una combinación "dúplex" ya que cada estación utiliza una portadora para transmitir y otra para recibir.

ACCESO SCPC/FDMA

Con el desarrollo de las redes privadas de comunicación surgió la necesidad de que cierto número de estaciones terrenas se comunicaran con otra denominada MAESTRA, en donde normalmente se encontraba el computador principal. La comunicación entre las estaciones remotas y el nodo principal es punto a punto.

Para establecer la comunicación punto a punto entre una estación maestra y varias estaciones remotas se asignan portadoras diferentes a cada estación (SCPC) permitiéndose a todas ellas comunicarse simultáneamente con la estación maestra empleando la técnica de acceso al satélite por división de frecuencia o FDMA.

SPADE

SPADE brinda en un sistema casi todas las ideas acerca del multiplexaje y acceso múltiple. Este transporta tráfico utilizando asignación de demanda SCPC FDMA con modulación QPSK de las portadoras individuales. Esto difunde la coordinación de información acerca de la asignación dinámica del canal sobre un subsistema TDMA llamado el canal de señalización común (CSC). El nombre de SPADE es un acrónimo "**Single Channel Per Carrier PCM Multiple Access Demand Assignment Equipment**". Mientras SPADE fue desarrollado por la familia de satélites obsoleta de INTELSAT IV. La INTELSAT publicó especificaciones para prevenir su uso a través de las series INTELSAT V.

La figura 25 muestra el plan de frecuencias SPADE en FI. La frecuencia central de 70 Mhz es convertida en subida al centro del transpondedor. Las dos mitades del ancho de banda de 36 Mhz son cada una divididas en 800 canales numerados en dos caminos. En un sistema, la frecuencia central del canal 400 es 22.5 KHz abajo de la frecuencia central de FI de 70 Mhz. Así este canal 400 es centrado en 69.9775 Mhz y el canal 401 es centrado en 70.0225 Mhz. Las frecuencias centrales del otro son colocadas en incrementos de 45 KHz a partir de estas, de modo que la frecuencia central de FI del canal N esta dada por:

$$f_N = 0.045N + 51.9775 \text{ Mhz.} \quad (\text{ec. 20})$$

El centro de la banda del transpondedor (70 Mhz) es marcado por una portadora piloto proporcionada por la estación de referencia de la red. Para evitar interferencia con el piloto, los canales inmediatamente abajo sobre y debajo de éste (401 y 400) no son utilizadas y estas porciones del espectro están sin ocupar. En suma los canales 1 y 2 son dejados vacantes para acomodar el canal de señalización común (CSC) que proporciona la información de control de la red.

Las dos mitades de una conversación telefónica son transportadas por un par de canales sobre y abajo del piloto. Un total de 397 de tales pares están disponibles y este es el número de canales dúplex simultáneos que un transpondedor de 36 Mhz , utilizando SPADE pueden proporcionar. Para referencia conveniente los canales sobre el piloto están dando un segundo grupo de números identificados por primos por donde los canales K y K' transportan dos lados de la misma conversación telefónica.

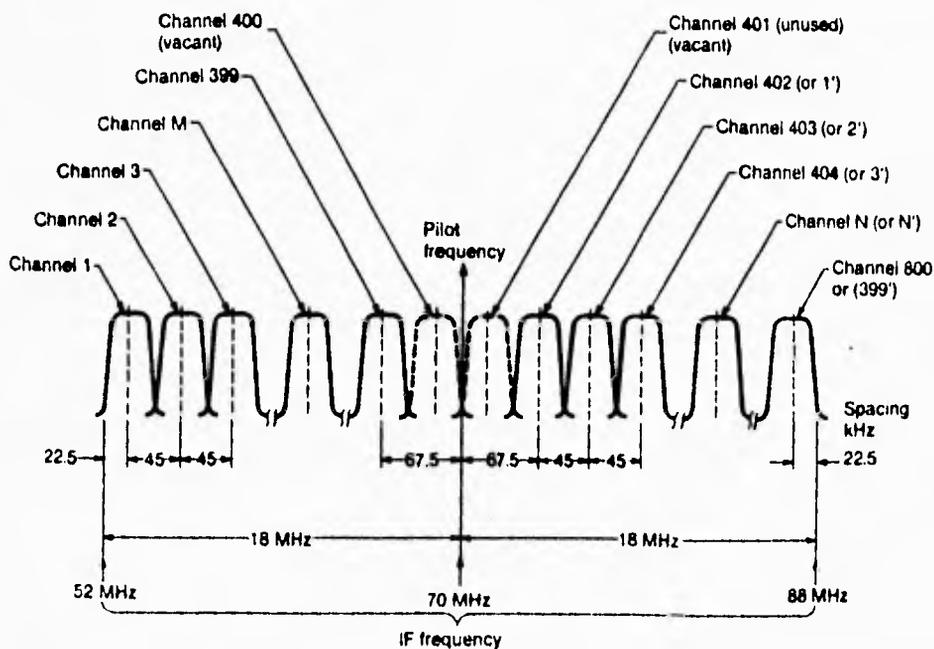


FIGURA 25 Plan de frecuencias SPADE en FI

Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)

En el acceso múltiple por división de tiempo, un número de estaciones terrenas se turnan para transmitir ráfagas a través de un transpondedor común. TDMA es fácil de reconfigurar para cambiar las demandas de tráfico, resiste el ruido y las interferencias, mezcla tráfico de voz y datos, etc. Pero una ventaja de TDMA que es esencialmente única para sistemas de satélites es el hecho de permitirle al TWT del transpondedor operar en o cerca de la saturación y así maximizar el enlace de bajada (C/N). Ya que sólo una portadora a la vez está en el TWT, no hay productos de intermodulación y no es necesario ningún backoff. El principal problema que la no linealidad del TWT puede causar es incrementar la interferencia entre símbolos y esto puede ser reducido por filtrado y ecualización.

Estructura y diseño de la trama en TDMA

La figura 26 ilustra el problema básico en las transmisiones TDMA; un grupo de estaciones terrenas, cada una a diferente distancia de un satélite, deben transmitir ráfagas individuales de energía de RF de tal modo que las ráfagas arriban al satélite en un orden establecido. Las estaciones tienen que ajustar su transmisión para compensar las variaciones en el rango del satélite y deben ser capaces de entrar o salir de la red sin interrumpir sus operaciones.

Estas herramientas se complementan para organizar las transmisiones de TDMA dentro de tramas que contienen ráfagas de referencia que establecen un tiempo absoluto para la red. Cada estación transmite una trama a la vez, así que su ráfaga comienza al dejar el satélite un intervalo de tiempo especificado antes o después del inicio de una ráfaga de referencia. Ver figura 27.

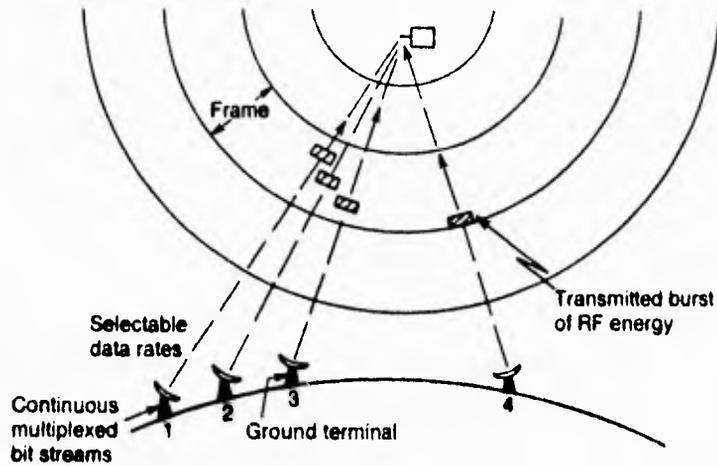


FIGURA 26 Estaciones en una red TDMA

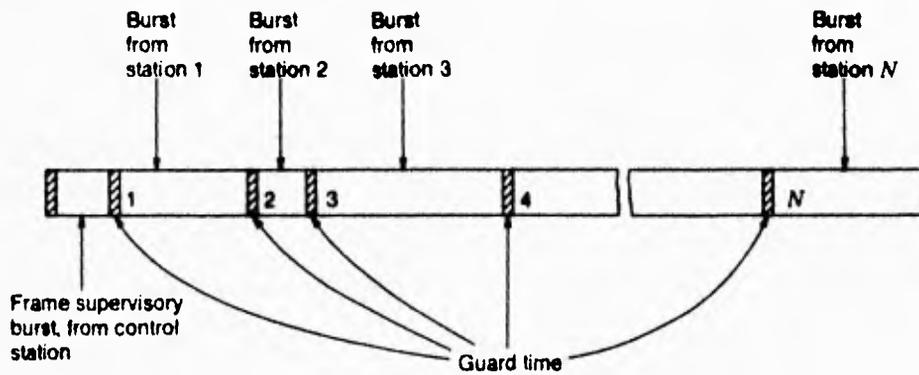


FIGURA 27 Estructura de la trama TDMA

Cada trama contiene uno (o dos para redundancia) ráfagas de referencia y una serie de ráfagas de tráfico. Cada ráfaga de tráfico contiene un preámbulo, el cual proporciona la sincronización (sync) y la información de señalización, e identifica la estación de transmisión seguida por un grupo de bits de tráfico. Los bits de tráfico son la porción de producción de ingresos del trama y las ráfagas de referencia y el preámbulo constituye el sistema overhead.

Algunos de los trade offs involucrados son ilustrados por la ecuación 20, la cual muestra como el número de canales de voz n que pueden ser transportados por un transpondedor TDMA, está relacionado con la razón de bit de transmisión R . La razón de bit V para un canal de voz, el número de ráfagas N en un trama, el número de bits P en cada preámbulo y el período del trama T_F :

$$n = \frac{R - \frac{NP}{T_F}}{V} \quad (\text{ec. 21})$$

Para un número dado de bits de preámbulo, haciendo el tiempo del trama tan largo como sea posible maximiza la capacidad del canal.

El mínimo tiempo del trama es 125 μ s requerido para un canal de voz muestreado en la razón estándar de 8 KHz. El tiempo máximo de la trama es arbitrario, este proporciona que cada trama contenga un muestreo de cada canal de voz por cada duración de 125 μ s de trama. Así el tiempo de trama afecta la estructura de las ráfagas desde las estaciones individuales. En el sistema INTELSAT el tiempo de la trama es 2 ms, y cada ráfaga de tráfico contendrá 16 muestreos (2 ms divididos entre 125 μ s) desde cada canal que está siendo transportado por la estación de transmisión. Los bits que están representando un muestreo son llamados canales terrestres o TC. Los 16

TCs que deben ser enviados en cada trama para un canal de voz son transmitidos uno después del otro en un bloque de 128 bits (64 símbolos) son llamados canal de satélite o SC (ver figura 28). Un sistema TDMA con un tiempo diferente de trama pudiera tener una estructura diferente SC.

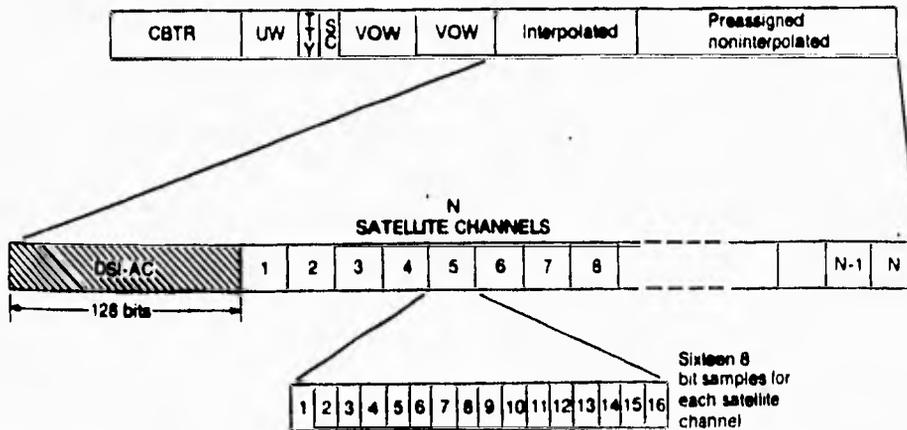


FIGURA 28 Estructura del tráfico de datos INTELSAT

Para propósitos de sincronización, los tramas deberán ser agrupados en multitramas o supertramas como en TDM. La posición de la trama en una estructura más grande puede ser identificada por alguna característica de la ráfaga de referencia.

Una estación terrena puede transmitir o recibir dentro de varios transpondedores; esto es llamado transpondedor de salto (**Transponder Hopping**). En la práctica en INTELSAT todos los transpondedores a través de los cuales una estación dada puede transmitir o recibir deben estar sincronizados. Esto significa que sus tramas deben comenzar y terminar al mismo tiempo. El grupo de transpondedores sincronizados es

llamado una comunidad de transpondedores. La figura 29 ilustra la estructura para tal comunidad.

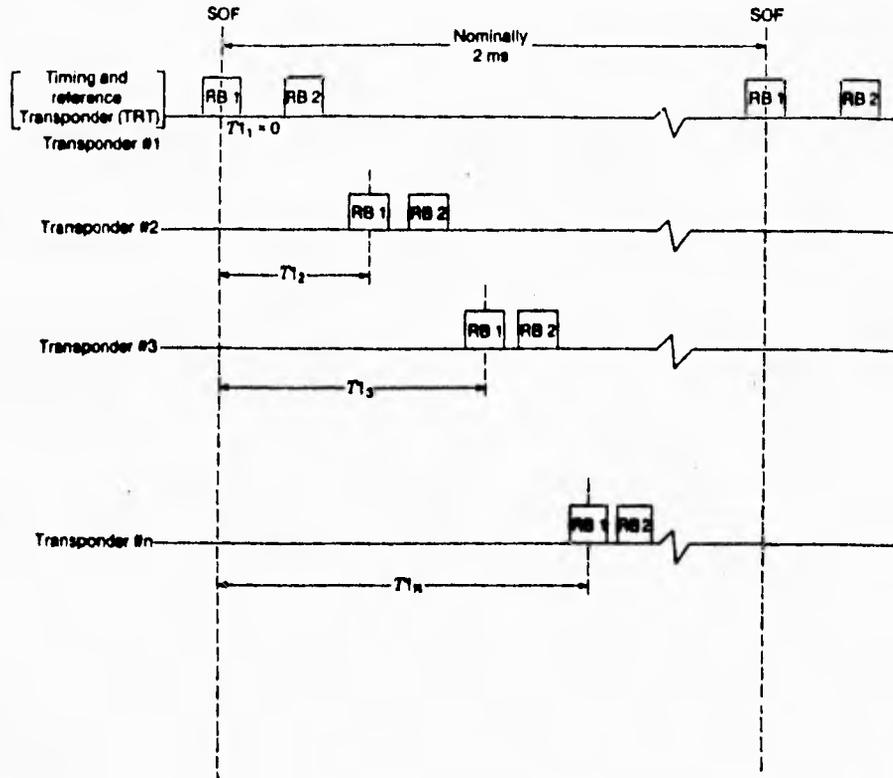


FIGURA 29 Estructura de trama de una comunidad de transpondedores

TDMA sincronización y reloj.

Cada estación en una red TDMA tiene un rango diferente al satélite y todos estos rangos varían con el tiempo. Esto complica la sincronización y el reloj en los sistemas TDMA.

Dejar que el rango desde el satélite a la N_{th} estación terrestre a un tiempo t sea $r_N(t)$. Asumir que el satélite está transmitiendo ráfagas de referencia que comienzan en el tiempo $t = 0, T_{FS}, 2 T_{FS}, 3T_{FS}, \dots$ donde T_{FS} es el tiempo de trama (por ejemplo, la longitud del trama expresada en convenientes tiempos de trama) al satélite. Habrá M tramas en una supertrama, así que la duración de la supertrama al satélite es MT_{FS} .

La ráfaga de referencia que deja al satélite a $t = 0$ buscará la N_{th} estación terrestre al tiempo t_A , la cual satisface la ecuación:

$$t_A = \frac{r_N(t_A)}{c} \tag{ec. 22}$$

donde:

c : Velocidad de la luz en el espacio libre.

Entonces las ráfagas de referencia arribarán a la estación terrena en los tiempos $r_N(0)/c, r_N(T_{FS})/c, r_N(2T_{FS})/c \dots$ si nosotros representamos el tiempo de arribo de la trama j th por t_{Nj} , entonces:

$$t_{Nj} = \frac{r_N(jT_{FS})}{c}, j = 0,1,2,3,\dots \tag{ec. 23}$$

El tiempo del trama en una estación N_{th} , T_{NF} , es el intervalo de tiempo entre los tiempos de llegada de sucesivas tramas. La razón de la trama R_{NF} es el recíproco del tiempo de la trama.

$$T_{NF} = t_{nj} - t_{nj-1} = \frac{r_N(T_{Fs}) - r_N((j-1)T_{Fs})}{c} \quad (\text{ec. 24})$$

$$R_{NF} = \frac{1}{T_{NF}}$$

Así cada miembro de una red TDMA percibirá una razón de trama diferente y esta razón de trama variará con el tiempo según cambie el rango al satélite. Entonces la razón de bit podría ser un múltiplo entero de la razón de bit, cada estación transmitirá con su propia razón de bit.

Acceso múltiple por división de código

El acceso múltiple por división de código (CDMA - **Code Division Multiple Access**) es un esquema en el cual, en promedio, un número de usuarios ocupan todo el ancho de banda de un transpondedor a la vez. Sus señales son codificadas, por lo cual la información de un transmisor individual puede ser detectada y recuperada sólo por una estación de recepción sincronizada apropiadamente que conozca el código que está siendo utilizado. Esto proporciona una red satelital descentralizada, ya que sólo los pares de estaciones que están comunicándose necesitan coordinar sus transmisiones.

Sujeto a las limitaciones de potencia del transpondedor y a las limitaciones prácticas de los códigos en uso, las estaciones que tienen tráfico pueden acceder un transpondedor en demanda sin coordinar su frecuencia (como en FDMA) o su ranura de tiempo (como en TDMA) con alguna autoridad central. Cada estación de recepción tiene su propio código, llamado su "dirección" y una estación de transmisión simplemente modula su transmisión con la dirección del receptor deseado cuando este desee enviar un mensaje a este receptor.

$$T_{NF} = t_{n_j} - t_{n_{j-1}} = \frac{r_n(T_{FS}) - r_n((j-1)T_{FS})}{c} \quad (\text{ec. 24})$$

$$R_{NF} = \frac{1}{T_{NF}}$$

Así cada miembro de una red TDMA percibirá una razón de trama diferente y esta razón de trama variará con el tiempo según cambie el rango al satélite. Entonces la razón de bit podría ser un múltiplo entero de la razón de bit, cada estación transmitirá con su propia razón de bit.

Acceso múltiple por división de código

El acceso múltiple por división de código (CDMA - **Code Division Multiple Access**) es un esquema en el cual, en promedio, un número de usuarios ocupan todo el ancho de banda de un transpondedor a la vez. Sus señales son codificadas, por lo cual la información de un transmisor individual puede ser detectada y recuperada sólo por una estación de recepción sincronizada apropiadamente que conozca el código que está siendo utilizado. Esto proporciona una red satelital descentralizada, ya que sólo los pares de estaciones que están comunicándose necesitan coordinar sus transmisiones.

Sujeto a las limitaciones de potencia del transpondedor y a las limitaciones prácticas de los códigos en uso, las estaciones que tienen tráfico pueden acceder un transpondedor en demanda sin coordinar su frecuencia (como en FDMA) o su ranura de tiempo (como en TDMA) con alguna autoridad central. Cada estación de recepción tiene su propio código, llamado su "dirección" y una estación de transmisión simplemente modula su transmisión con la dirección del receptor deseado cuando este desee enviar un mensaje a este receptor.

Mientras los propósitos (discreción y resistencia al embotellamiento) de los sistemas de comunicaciones de espectro libre (SS - **Spread Spectrum**) son relativamente diferentes de CDMA, las dos técnicas son idénticas . En suma ,, CDMA es más adecuado para ambientes de comunicaciones de tácticas militares donde muchos grupos pequeños de estaciones móviles se comunican brevemente a intervalos irregulares que un ambiente comercial donde grandes volúmenes de tráfico pasa continuamente entre un pequeño número de estaciones de localización fija. Por estas razones CDMA no ha sido adoptado para sistemas de satélites comerciales.

ALOHA

En la década de 1970, Norman Abramson y sus colegas de la Universidad de Hawaii descubrieron un nuevo y novedoso método para resolver el problema de la asignación del canal. Varios investigadores han desarrollado este trabajo, desde entonces (Abramson 1985). Aunque el trabajo de Abramson, conocido como el sistema ALOHA, utilizó una difusión por radio con base terrestre, la idea básica puede aplicarse a cualquier sistema en el que se tengan usuarios no coordinados que estén compitiendo por el uso de un solo canal.

ALOHA puro y ALOHA ranurado

La idea primordial de un sistema ALOHA es muy simple: dejar que los usuarios transmitan información siempre que la tengan. Habrá colisiones, naturalmente y por tanto, las tramas colisionadas sufrirán obstrucción. Sin embargo, debido a la propiedad de retroalimentación de la difusión, el que envía la información, siempre podrá averiguar si su trama se destruyó, al escuchar la salida del canal.

Con el uso de una LAN, la retroalimentación es inmediata; con un satélite, hay un retardo de 270 ms antes de que el usuario que envía pueda conocer si la transmisión tuvo éxito. Si la trama se destruyó, el emisor esperará un tiempo aleatorio antes de transmitirla de nuevo. El tiempo de espera debe ser aleatorio, de otra manera las tramas sufrirán colisiones una y otra vez, de manera continua. Los sistemas en los que múltiples usuarios comparten un canal común, de tal forma que pueda llevarlos a conflictos se conocen como **sistema de contienda**.

En la figura 30 se muestra un esbozo de la generación de tramas en un sistema ALOHA. Todas las tramas tienen la misma longitud, porque el rendimiento de un

sistema ALOHA es máximo cuando se tiene un tamaño uniforme de trama, en vez de permitir tener tramas de longitudes variables.

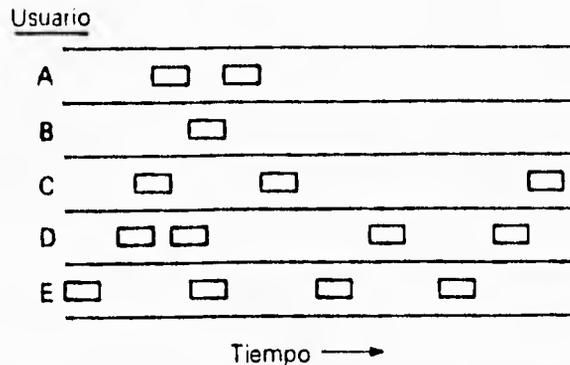


FIGURA 30 En el sistema ALOHA puro, las tramas se transmiten en tiempos totalmente arbitrarios.

Siempre que dos tramas traten de ocupar el mismo canal al mismo tiempo habrá una colisión y ambas serán destruidas. Se deberá entender que si el primer bit de una trama nueva se superpone con el último bit de una trama que termina, las dos tramas se destruirán por completo y se tendrán que retransmitir posteriormente. El código de redundancia no puede distinguir (y además no debe hacerlo), lo que significa una pérdida total y una parcial. Considérese primero el hecho de tener una colección infinita de usuarios interactivos que se encuentren enfrente de sus terminales. Un usuario siempre estará en uno de dos posibles estados: pensando o bloqueado.

Al principio, todos los usuarios están pensando; en el momento en que alguno de ellos decide qué es lo que va hacer a continuación, escribe una línea de texto termina por un "retorno de carro". En este momento, se bloquea y deja de pensar. El microordenador, situado en el interior de la terminal, traba inmediatamente el teclado, para evitar más pérdidas. Entonces, transmite una trama que contiene la línea y

comprueba el canal, para saber si la transmisión tuvo éxito. Si es así, el teclado del usuario se desbloquea de nuevo; pero si no, éste permanece bloqueado y la trama se retransmite, una y otra vez, hasta que la transmisión tiene éxito.

Definamos el "tiempo de la trama" como la cantidad de tiempo necesario para transmitir una trama normal de longitud fija (es decir, la longitud de la trama dividida entre la velocidad en bps). Bajo esta situación, supóngase que la población infinita de usuarios genera nuevas tramas, de acuerdo con una distribución de Poisson, con una media de S tramas por tiempo de tramas. (La suposición de contar con una población infinita es necesaria para asegurarse de que S no disminuye a medida que los usuarios se bloquean). Si $S > 1$, los usuarios están generando tramas a una velocidad mayor que la que puede manejar el canal y prácticamente, casi cualquier trama sufrirá una colisión. Para poder asegurar un rendimiento razonable, se espera que $0 < S < 1$.

Además de tramas nuevas, las estaciones también generan retransmisiones de tramas que previamente sufrieron colisiones. Supongamos que la probabilidad de k intentos de transmisión por tiempo de trama, combinando las nuevas con las antiguas, también tiene una distribución de Poisson, con una medida de valor G por tiempo de trama. Se puede observar claramente que $G \geq S$. Para condiciones de baja carga (es decir, $S \approx 0$), habrá muy pocas colisiones y por consiguiente, pocas retransmisiones, de tal forma que $G \approx S$. Por otra parte, para condición de carga alta, habrá muchas colisiones y $G > S$. Bajo cualquier carga, el caudal es justo el producto de la carga ofrecida G , multiplicada por la probabilidad de una transmisión con éxito - es decir, $S = GP_0$, donde P_0 es la probabilidad que tiene una trama de no sufrir colisiones.

Como se muestra en la figura 31, una trama no sufrirá colisión si no se envían otras tramas en un tiempo de trama desde el inicio de ésta. Bajo qué condiciones la trama

que aparece sombreada llegará a su destino sin sufrir daño alguno. Supongamos que t es el tiempo necesario para transmitir una trama; si cualquier otro usuario hubiese generado otra trama entre los tiempos t_0 y $(t_0 + t)$, el final de esta trama sufrirá una colisión con el principio de la trama sombreada. De hecho, el destino de la trama sombreada ya estaba sellado, incluso antes de que se envíe el primer bit, pero debido a que la estación considerada en un sistema ALOHA puro, no escucha el canal antes de transmitir, no tiene manera alguna de saber si otra trama se encuentra en camino. De la misma manera, cualquier otra trama que se hubiese iniciado en un intervalo de tiempo entre $(t_0 + t)$ y $(t_0 + 2t)$, chocará, definitivamente, con el final de la trama sombreada.

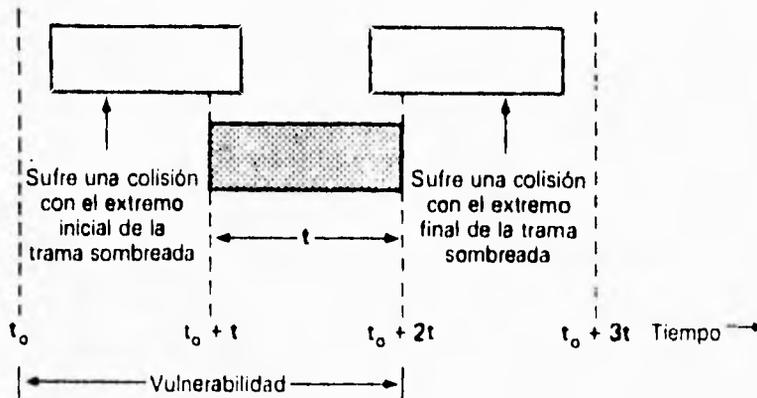


FIGURA 31 Periodo de vulnerabilidad para la trama sombreada

La probabilidad de que sean generadas k tramas, durante un tiempo de trama dado, estará representada por la distribución de Poisson:

$$Pr(k) = \frac{G^k e^{-G}}{k!} \quad (\text{ec. 1})$$

así que la probabilidad de que haya cero tramas es justamente e^{-G} . En un intervalo con una longitud de dos tiempos de trama, la media del número de tramas que se generan es $2G$. La probabilidad de que no se haya iniciado otro tráfico de información durante el período total de vulnerabilidad está, por consiguiente, dada por la expresión $P_0 = e^{-2G}$ utilizando la expresión $S = GP_0$, se puede obtener el siguiente resultado

$$S = Ge^{-2G}$$

La relación que existe entre el tráfico ofrecido y el caudal, se muestra en la figura 3. El máximo rendimiento ocurre para $G = 0.5$ con $S = 1/(2e)$, que es aproximadamente igual a 0.184. En otras palabras, el mejor rendimiento que se puede esperar en la utilización de un canal es del 18%. El resultado no es muy alentador, pero bajo la condición de que cualquier usuario pueda transmitir siempre que así lo desee, difícilmente se esperaría tener un éxito del 100 %.

En 1972, Roberts publicó un método que permitió duplicar la capacidad de un sistema ALOHA. Su propuesta consistió en dividir el tiempo en intervalos discretos, intervalo correspondiendo a una trama. Una manera de llegar a alcanzar una sincronización entre los usuarios, sería el contar con una estación especial que emitiera un sonido al inicio de cada uno de dichos intervalos, como si fuera un reloj.

A diferencia del método de Abramson, el **ALOHA puro**, en el método de Roberts, que se conoce como **ALOHA ranurado**, a la terminal no se le permite que transmita información siempre que se teclee un retorno de carro en el teclado. En lugar de esto, se espera hasta que comience la siguiente ranura.

Así el sistema ALOHA puro continuo se transforma en discreto. Dado que el período de vulnerabilidad se ha reducido a la mitad, la probabilidad de que no exista otro tráfico durante la misma ranura que nuestra trama de prueba es e^{-G} .

Esto nos conduce ahora a la siguiente expresión

$$S = Ge^{-G} \quad (\text{ec. 2})$$

Como puede verse en la figura 32, el ALOHA ranurado presenta un pico para $G = 1$, con un caudal de $S = 1/e$, que es aproximadamente igual a 0.368; es decir, dos veces el valor correspondiente al sistema ALOHA puro. Si el sistema está funcionando para $G = 1$, la probabilidad de tener una ranura desocupada es de 0.368. Por esta razón, lo mejor que puede esperarse de un sistema ALOHA ranurado es el 37 % de las ranuras desocupadas, 37 % de éxito y 26 % de probabilidad de que suceda una colisión. Las condiciones de operación con valores más grandes de G , reducen el número de ranuras vacías, pero aumenta en forma exponencial el número de colisiones. Para dar una idea del rápido crecimiento asociado al valor que adquiere G , considérese la transmisión de una trama de prueba. La probabilidad que tiene para evitar la colisión es e^{-G} , es decir, la probabilidad de que todos los otros usuarios permanezcan en silencio en esa ranura. La probabilidad de una colisión es $(1 - e^{-G})$. La probabilidad de una transmisión que requiere exactamente k intentos para su realización es decir, $(k - 1)$ colisiones seguidas por un éxito, está dada por

$$P_k = e^{-G} (1 - e^{-G})^{k-1}$$

El número esperado de transmisiones, llámese E , cada vez que se teclee un retorno de carro, será por tanto

$$E = \sum_{k=1}^{\infty} k P_k = \sum_{k=1}^{\infty} k e^{-G} (1 - e^{-G})^{k-1} = e^{-G}$$

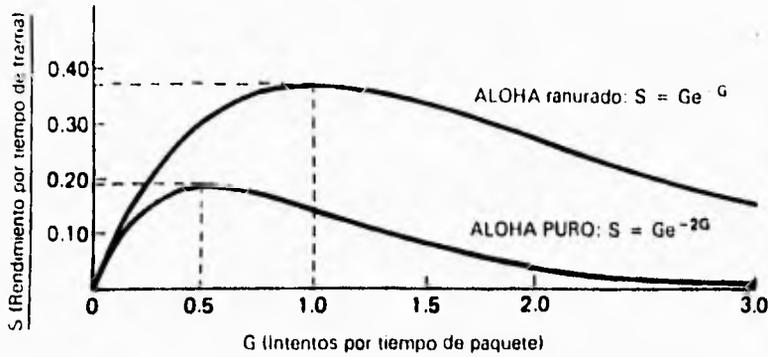


FIGURA 32 Rendimiento versus el tráfico ofrecido para los sistemas ALOHA

Como resultado de la dependencia exponencial, de E con respecto a G, pequeños incrementos en la carga del canal, traerán como consecuencia una reducción drástica de su rendimiento.

ALOHA de población finita

Los resultados anteriores se obtuvieron suponiendo un número infinito de usuarios. Abramson también analizó los sistema ALOHA ranurados, con un número finito de usuarios. Aquí se resumirán sus resultados, en forma breve.

Sea S_i la probabilidad de éxito de una transmisión generada por el usuario i . Recuérdese, por otra parte, que en equilibrio, el caudal deberá ser igual a la tasa de generación de nuevas tramas. Sea G_i la probabilidad total de transmisión (por ranura) del usuario i , incluyendo las tramas nuevas, como las retransmitidas. Claramente se

observa que $S_i \leq G_i$. La probabilidad de que una ranura dada contenga una trama, transmitida con éxito por el usuario i , es precisamente la probabilidad de que el usuario i transmita una trama, multiplicada por la probabilidad de que ninguno de los $(N - 1)$ usuarios restantes transmitan otra trama:

$$S_i = G_i \prod_{j \neq i} (1 - G_j) \quad (\text{ec. 3})$$

Ahora particularizemos la ecuación anterior para el caso de tener una cantidad N de usuarios idénticos, cada uno de ellos teniendo un caudal igual a $S_i = S/N$ tramas/ranura y una velocidad total de transmisión igual a $G_i = G/N$ tramas/ranura, en donde $G = \sum G_i$. Al sustituir estos términos en la ecuación anterior se tiene

$$S = G (1 - G/N)^{N-1}$$

A medida que $N \rightarrow \infty$, podemos utilizar el hecho de que:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} (1 + x/k)^k = e^x$$

para finalmente llegar a la ecuación 2.

En la figura 33, se puede ver el máximo caudal para un sistema ALOHA ranurado de población infinita, tiene lugar cuando $G = 1$. Este resultado razonable intuitivamente también funciona para sistemas con un número finito de usuarios.

La condición para tener un caudal máximo es

$$\sum_{i=1}^N G_i = 1 \quad (\text{ec. 4})$$

Ahora considérense dos clases de usuarios, por ejemplo, los usuarios de transferencia de archivo y los interactivos. Sea N_1 el número de usuarios correspondientes a la primera clase y N_2 a los de la segunda, con caudales de S_1 y S_2 respectivamente (por usuario). Entonces la ecuación 3 se reduce a

$$S_1 = G_1(1 - G_1)^{N_1} - 1(1 - G_2)^{N_2} \quad (\text{ec. 5})$$

y además

$$S_2 = G_2(1 - G_2)^{N_2} - 1(1 - G_1)^{N_1} \quad (\text{ec. 6})$$

Para un caudal máximo, se deberá tomar en consideración lo que indica la ecuación 4, que se convierte en

$$N_1 G_1 + N_2 G_2 = 1 \quad (\text{ec. 7})$$

Ahora se tienen tres ecuaciones con cuatro incógnitas (S_1 , S_2 , G_1 , G_2). Con el empleo de la ecuación 7, se puede eliminar G_2 de las ecuaciones del caudal de las dos clases (ec. 5 y 6), para producir ecuaciones paramétricas para el caudal, con parámetro en G_1 .

Los sistemas que utilizan TDM, FDM o SPADE son viables sólo cuando el número de estaciones es pequeño y relativamente estático, y todas ellas tienen un tráfico continuo. Cuando se trata de cientos o miles de estaciones, o bien, si hay estaciones con un tráfico por ráfagas, ninguno de estos algoritmos tendrá el suficiente atractivo. En su lugar el ALOHA viene a ser de nuevo un candidato muy serio.

El problema con el sistema ALOHA, naturalmente, es la baja eficiencia del canal. Con un ALOHA puro, éste es de $1/2e$, o sea de 0.184. Aún cuando se emplee el ALOHA

Ahora considérense dos clases de usuarios, por ejemplo, los usuarios de transferencia de archivo y los interactivos. Sea N_1 el número de usuarios correspondientes a la primera clase y N_2 a los de la segunda, con caudales de S_1 y S_2 respectivamente (por usuario). Entonces la ecuación 3 se reduce a

$$S_1 = G_1(1 - G_1)^{N_1} - 1(1 - G_2)^{N_2} \quad (\text{ec. 5})$$

y además

$$S_2 = G_2(1 - G_2)^{N_2} - 1(1 - G_1)^{N_1} \quad (\text{ec. 6})$$

Para un caudal máximo, se deberá tomar en consideración lo que indica la ecuación 4, que se convierte en

$$N_1 G_1 + N_2 G_2 = 1 \quad (\text{ec. 7})$$

Ahora se tienen tres ecuaciones con cuatro incógnitas (S_1 , S_2 , G_1 , G_2). Con el empleo de la ecuación 7, se puede eliminar G_2 de las ecuaciones del caudal de las dos clases (ec. 5 y 6), para producir ecuaciones paramétricas para el caudal, con parámetro en G_1 .

Los sistemas que utilizan TDM, FDM o SPADE son viables sólo cuando el número de estaciones es pequeño y relativamente estático, y todas ellas tienen un tráfico continuo. Cuando se trata de cientos o miles de estaciones, o bien, si hay estaciones con un tráfico por ráfagas, ninguno de estos algoritmos tendrá el suficiente atractivo. En su lugar el ALOHA viene a ser de nuevo un candidato muy serio.

El problema con el sistema ALOHA, naturalmente, es la baja eficiencia del canal. Con un ALOHA puro, éste es de $1/2e$, o sea de 0.184. Aún cuando se emplee el ALOHA

ranurado, éste será sólo de $1/e$, o sea de 0.368. Se han planteado varias proposiciones con objeto de mejorar la eficiencia.

La forma natural para hacer un sistema de ALOHA ranurado en un satélite, consiste en tener un canal de enlace ascendente y otro de enlace descendente, cada uno con un ancho de banda de B bps, para un total de ancho de banda asignado de $2B$. El rendimiento en consecuencia será de B/e bps. La eficiencia del canal es, por tanto, $(B/e)/2B$ o $1/2e$, que viene a ser igual a 0.184. Por tanto, la necesidad de que las tramas deban ser explícitamente difundidas por el satélite, lleva consigo un costo de un factor de dos en la eficiencia, comparada a la de un sistema ALOHA, en el que cada estación pueda escuchar las transmisiones originales.

Ahora veremos qué es lo que sucede si se pasa de un sistema con un canal de enlace ascendente y otro descendente como se muestra en la figura 4a, a un sistema con dos canales de enlace ascendente y uno descendente como se muestra en la figura 4b.

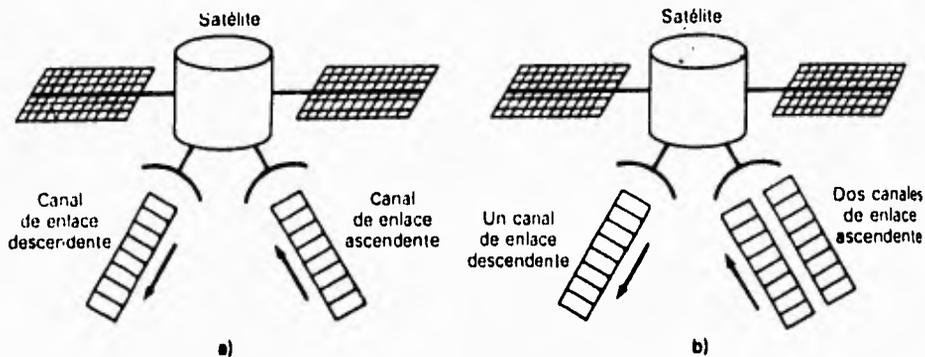


FIGURA 33 a) Sistema ALOHA con un canal de enlace ascendente y uno descendente. b) Sistema ALOHA con dos canales de enlace ascendente y uno descendente

Una estación con una trama para transmitir, selecciona uno de los dos canales ascendentes en forma aleatoria, y transmite la trama en la siguiente ranura.

Cada enlace ascendente es un canal ALOHA ranurado independiente. Si se supone que cada canal opera en forma óptima ($G = 1$), entonces, de acuerdo con la ecuación 1, la probabilidad de que exista una ranura vacía es de 0.368, y la probabilidad para que tenga lugar una colisión es de 0.264. Con dos canales independientes, es posible tener nueve eventos en cada una de las ranuras. La probabilidad de cada evento se representa en la tabla 4.

De la tabla 4, puede concluirse que la probabilidad de que suceda un éxito es de 0.464. La trama que tuvo éxito puede desplazarse hacia el enlace descendente y difundirse. Además, en 0.135 de las ranuras, los dos canales tendrán exactamente una trama, de tal forma que el satélite selecciona una de ellas y la difunde descartando a la otra al mismo tiempo. La estación cuya trama fue descartada, maneja el evento de la misma forma que lo hace con las colisiones es decir, espera un número aleatorio de ranuras, para después hacer un nuevo intento. Al sumar estos números, se observa que el uso del enlace descendente es de 0.599.

		Canal 1		
		Vacío	Exito	Colisión
Canal 2	Vacío	0.135	0.135	0.097
	Exito	0.135	0.135	0.097
	Colisión	0.097	0.097	0.070

TABLA 4 Probabilidad combinadas para un sistema ALOHA ranurado con dos canales

El ancho de banda total ocupado por este esquema es de $3B$ y el rendimiento es de $0.599B$, de tal forma que la eficiencia correspondiente es de 0.200 aproximadamente, osea, un 9% mejor que en el caso de un sistema con un enlace ascendente y uno descendente.

Para hacer este ejemplo más concreto, supóngase que 1 Mbps de ancho de banda es el disponible para la transmisión de datos. Si este ancho de banda se asigna con 500 Kbps de enlace ascendente y 500 Kbps de enlace descendente, habrá un rendimiento de 184 Kbps como máximo. Sin embargo, para dos canales de enlace ascendente de 333 Kbps, cada uno de ellos asignado junto con un sólo canal de enlace descendente de 333 Kbps, dará un rendimiento máximo de 200 Kbps. La ganancia viene del hecho de que el sistema con dos enlaces permite que se tenga un mejor uso del canal del enlace descendente.

Deberá aclararse que es posible tener otro tipo de esquemas; en lugar de contar con dos canales de enlace ascendente, por ejemplo, se podrían tener n de ellos. Una breve reflexión indicará que a medida que el valor de n se incrementa, el rendimiento del enlace descendente también aumenta. El cálculo es directo. Se puede desperdiciar una ranura porque esté inactiva, o bien, porque haya sufrido una colisión. La probabilidad de que esto suceda es $p=1-1/e$. Si hay n canales, la probabilidad de que el enlace descendente se desperdicie es precisamente la probabilidad de que todas las ranuras de enlace ascendente se pierdan, o sea p^n . De esta manera, la utilización del enlace descendente es $1 - p^n$. La eficiencia, por tanto, es el empleo del enlace descendente dividida por el ancho de banda asignado:

$$\text{eficiencia} = [1 - (1 - 1/e)^n] / n + 1$$

El valor máximo ocurre cuando $n = 2$.

En el modelo anterior si dos tramas con éxito llegan juntas, una de ellas deberá descartarse porque sólo hay un enlace descendente. Hay dos posibilidades de mejorar esta situación. Una de ellas consiste en agregar capacidad de almacenamiento en el satélite, para que la trama que no se difunde inmediatamente pueda guardarse para una ranura posterior. La otra posibilidad es que se añadan múltiples enlaces descendentes. La memoria a bordo del satélite necesita energía adicional, lo cual significa tener mayor número de celdas solares y un mayor peso a transportar al espacio. Por esta razón, los primeros satélites no tenían ninguna posibilidad de almacenar tramas para su futura difusión. A medida que se han mejorado los aspectos tecnológicos, ha llegado a ser más común el almacenamiento a bordo del satélite.

Si se encuentran disponibles múltiples enlaces ascendentes, es posible modificar el protocolo ALOHA para reducir el retardo promedio para las tramas con alta prioridad. La manera de llegar a alcanzar esta reducción consistirá en transmitir estas tramas por varios canales al mismo tiempo, aumentando así la probabilidad que una de ellas tenga éxito. Alternativamente, si sólo tenemos un enlace ascendente, la trama podría transmitirse normalmente y un poco tiempo después (pero mucho antes de los 270 ms correspondientes al retardo de propagación) podría retransmitirse de nuevo. Esta repetición, también, tiene como efecto una mejora sobre la posibilidad de que al menos una copia sobreviva.

ALOHA de reserva

Incluso los protocolos mejor elaborados, basados en el sistema ALOHA, nunca podrán obtener una eficiencia superior a $1/e$. Sin embargo, para canales con cargas muy grandes, existen otros métodos para hacer buen uso de un sólo canal compartido, en

particular, el correspondiente a la multiplexión por división de tiempo. Varios investigadores han propuesto esquemas de control que actúan como un sistema ALOHA ranurado normal, o casi normal, para un canal con baja utilización; para después moverse, en forma gradual, hacia algún tipo de sistema TDM, a medida que la carga del canal aumenta.

Todos estos métodos presentan una característica común: algunas ranuras están reservadas para estaciones específicas. Se requiere que las estaciones no hagan uso de una ranura que está reservada para alguien más. Los métodos difieren de acuerdo con la manera en que se llevan a cabo las reservas y también, como se liberan. Recuérdese, por comparación, que en los sistemas TDM las ranuras están organizadas en grupos de N ranuras, en donde cada una de las ranuras se encuentra reservada permanentemente para una estación específica.

Binder propuso un método que comienza con el modelo TDM básico y lo adapta al sistema ALOHA ranurado, para una baja utilización de canal. Como en el caso TDM, se agrupan N ranuras consecutivas en un grupo, donde cada estación es propietaria de una posición. Si llegará a existir un mayor número de ranuras que de estaciones, las ranuras extra no se asignarán a ninguna estación. Si el propietario de una ranura no la quiere durante el grupo actual, no hace nada. Una ranura vacía, es una señal hacia todos los demás de que su propietario no tiene tráfico. Durante el siguiente grupo, la ranura se pone a disposición de cualquiera que la desee, sobre una base de contienda. Si el propietario desea retirar su ranura, transmite una trama, forzando de esta manera una colisión (en caso de que haya tráfico). Después de la colisión, cualquiera de ellos, exceptuando al propietario, deberá desistir de usar dicha ranura. Por tanto, el propietario, en el peor de los casos, siempre podrá comenzar a transmitir dentro de dos tiempos de grupo. Para una baja utilización de canal, el sistema no se

comporta tan bien como el sistema ALOHA ranurado normal, dado que después de cada colisión, los participantes quieren que se les devuelva la ranura. En la figura 34a se muestra un grupo con ocho ranuras, siete de las cuales ya tienen propietario.

Una ligera eficiencia que se tiene con este método es, que siempre que el propietario de una ranura termine con ella, la posición no se usa, durante el siguiente grupo, para anunciar que su propietario ha terminado. Con objeto de eliminar el desperdicio de esta ranura, se podría incluir un bit extra en la cabecera de todas las tramas para anunciar que el propietario tiene o no más información por transmitir para el siguiente grupo.

Crowther y sus colaboradores han propuesto un método diferente de reserva, que es aplicable aún cuando el número de estaciones se desconozca y varíe dinámicamente. En su método, las ranuras no tienen propietarios diferentes, como en el caso del método de Binder, sino que en su lugar, y siempre que se lleve a cabo una transmisión con éxito, la estación que la realizó también tiene derecho a la siguiente ranura en el siguiente grupo. Por tanto mientras la estación tenga información que enviar, puede continuar haciéndolo en forma indefinida. dado que es improbable que todas las estaciones lleguen a tener grandes cadenas de información por transmitir en forma simultánea, éste método trabaja bien, aún cuando el número de ranuras por grupo sea bastante menor que el número de estaciones. En síntesis, esta propuesta permite una combinación dinámica de sistemas ALOHA ranurado y TDM, con el número de ranuras dedicado a cada uno variando de acuerdo a la demanda. En la figura 34b se muestra un grupo de ocho ranuras. Inicialmente, E está utilizando la última ranura, pero después de haber pasado dos grupos, ya no la necesita más; E queda en estado inactivo durante el paso de un grupo, y después D la adquiere y la conserva hasta que termina su trabajo.

APENDICE C



C.1 ANTENAS

Una estación terrena es un sistema de transmisión y recepción que envía o recibe señales de un satélite. La estación terrena puede ser localizada en un barco en el mar o en un avión, pero aún así es llamada estación terrena porque ésta forma la base final del enlace tierra - espacio. La parte más visible de una estación terrena es usualmente la **antena**, la cual puede ser tan grande como de 30 m de diámetro en la red INTELSAT, o tan pequeña como de 0.7 m para recepción de una transmisión directa de televisión por satélite (DBS-TV). La única característica que tienen en común todas las estaciones terrenas es la necesidad de conseguir un bajo sistema de temperatura de ruido en el canal de recepción.

Tipos de antenas.

Las antenas pueden clasificarse, en términos generales, ya sea por el espectro de frecuencias en que suelen aplicarse o por su modo básico de radiación. En el primer tipo de clasificación, los tipos de antenas obedecen a las designaciones usuales de las bandas y se describen como antenas de VLF, LF, MF, HF, UHF y microondas, conforme a su frecuencia de operación. En el segundo tipo de clasificación, las antenas pueden dividirse en cuatro grupos:

- De elemento de corriente
- De onda progresiva
- Múltiples
- De abertura

Los cuatro grupos pueden distinguirse por el tamaño de la antena medido en longitudes de onda, que a su vez puede relacionarse con las distintas regiones del espectro en las cuales suelen aplicarse las antenas, como se muestra en la figura 1

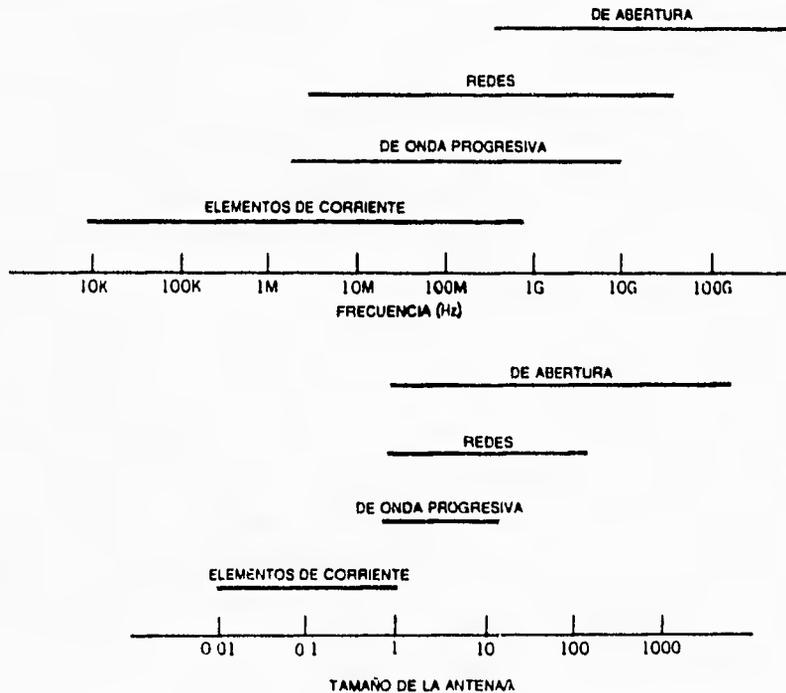


FIGURA 1. Clasificación de antenas en base al modo de radiación.

En la tabla 1 y en la figura 2 se enumeran ejemplos de antenas que pueden ubicarse en cualquiera de los cuatro grupos. La clasificación de las antenas en estos cuatro grupos es solamente una aproximación, con bastantes excepciones.

En el análisis matemático de las antenas, la elección correcta del sistema de coordenadas es a menudo un factor importante para simplificar las expresiones de los campos y corrientes electromagnéticos asociados con el sistema de antena.

Elemento de Corriente	Onda Progresiva	Redes	Abertura
<ul style="list-style-type: none"> • Monopolar • Dipolar • De cuadro • De rendija radiante • Bicónica • De ranura • Esferoidal • De reflector parabólico • De microcinta 	<ul style="list-style-type: none"> • De fuente lineal • De alambre largo • Rómbica • De guía de onda ranurada • Espiral • Helicoidal • Periódica logarítmica • De ondas lentas • De ondas rápidas • De ondas dispersas • De ondas superficiales • De varilla dieléctrica larga 	<ul style="list-style-type: none"> • De radiación transversal • De radiación longitudinal • Lineal • Planar • Circular • Conforme • Periódica logarítmica • De procesamiento de señales 	<ul style="list-style-type: none"> • De reflector • De bocina • De lente • De radiación de retroceso • Varilla dieléctrica corta • Bocina parabólica

Tabla 1. Tipos de antenas

Dependiendo de la configuración geométrica implicada, es una práctica común utilizar los sistemas de coordenadas cartesianas, polares, cilíndricas o esféricas.

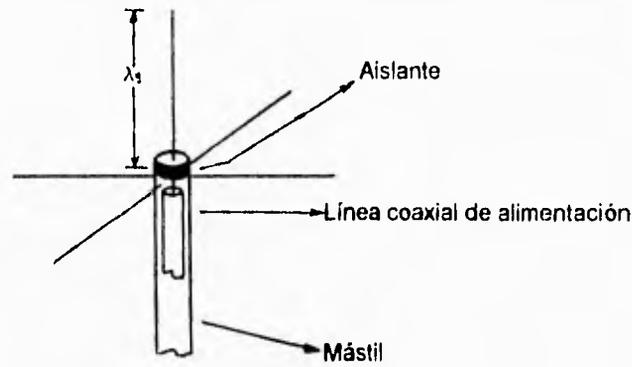
Parámetros de la antena

Características de la radiación. La característica (o diagrama) de radiación es el parámetro más importante de una antena, ya que muchos de los demás parámetros suelen deducirse a partir de éste.

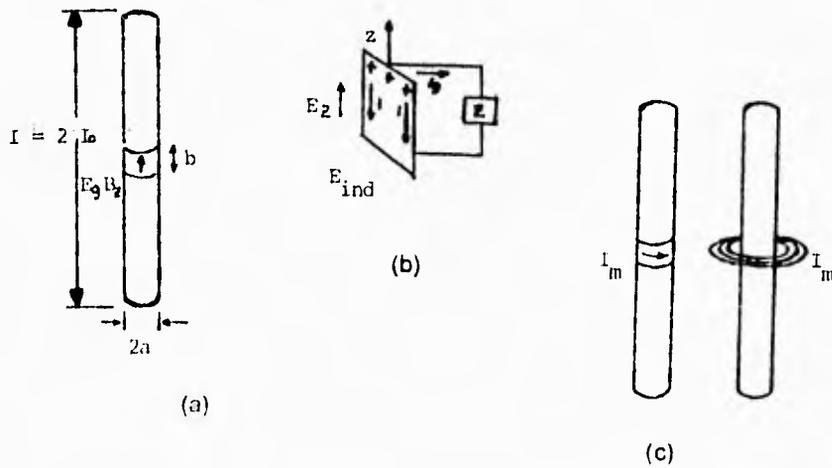
Debido al principio de reciprocidad, la característica de radiación de una antena de transmisión es equivalente a la característica de recepción de la misma antena cuando se utiliza en el modo de recepción. Por definición, la característica de radiación representa el cambio de la intensidad del campo eléctrico sobre la superficie de una gran esfera de radio r centrada con respecto a la antena radiante. En coordenadas esféricas, es una gráfica de la intensidad del campo eléctrico $E(\theta, \phi)$ como función de variables direccionales ϕ y θ . En la práctica, esta característica tridimensional se mide y registra en una serie de patrones bidimensionales. Sin embargo, en el caso de las antenas direccionales de un sólo haz, puede obtenerse suficiente información acerca de la característica tridimensional a partir de sólo dos patrones planos bidimensionales que incluyen la dirección máxima del haz principal.

Estos patrones planos se denominan características de los planos principales de la antena, tales como el plano xy ($\theta = 90^\circ$) y el plano xz ($\phi = 0^\circ$) que se muestra en la figura 3. Para una antena polarizada linealmente, las características de planos principales también pueden denominarse características del plano E y del plano H , siempre que un plano contenga al vector de campo E y el otro contenga al vector de campo H .

La característica de radiación puede representarse gráficamente en una variedad de formas, de las cuales las más comunes son las gráficas bidimensionales en coordenadas polares o cartesianas. La amplitud relativa de la energía radiada puede registrarse ya sea como una característica de potencia relativa ($P/P_{m\acute{a}x}$), de campo relativo ($E/E_{m\acute{a}x}$), de potencia logarítmica $10 \log (P/P_{m\acute{a}x})$ o de campo logarítmico $20 \log (E/E_{m\acute{a}x})$.

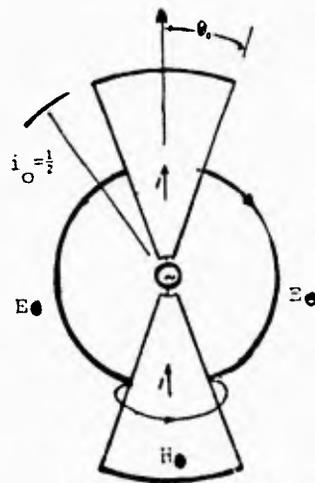


a) Antena monopolo con cuatro brazos radiales

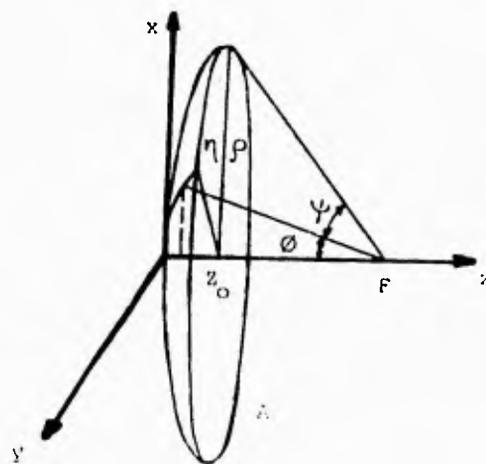


b) Antena dipolo con campo eléctrico aplicado E_g sobre una pequeña banda circular de longitud b

FIGURA 2. Tipos de Antenas

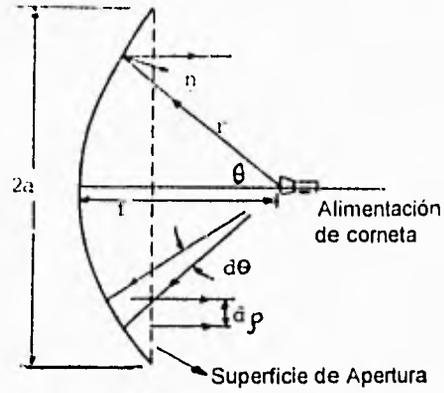


c) Antena Bicónica

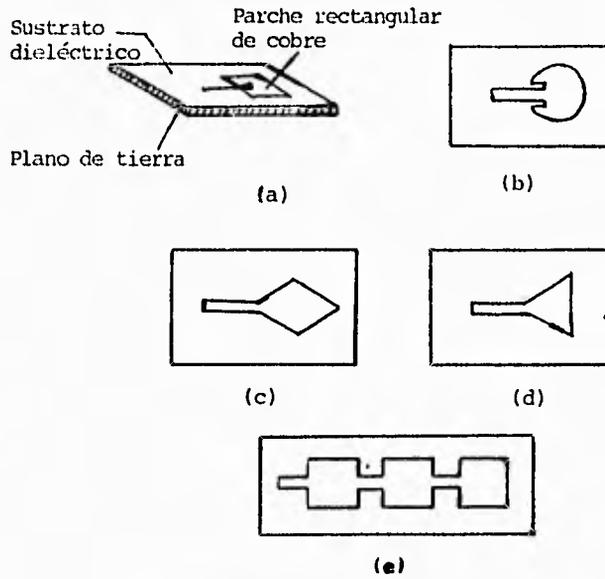


d) Esquema de referencia para el reflector parabólico

FIGURA 2 Tipos de Antenas

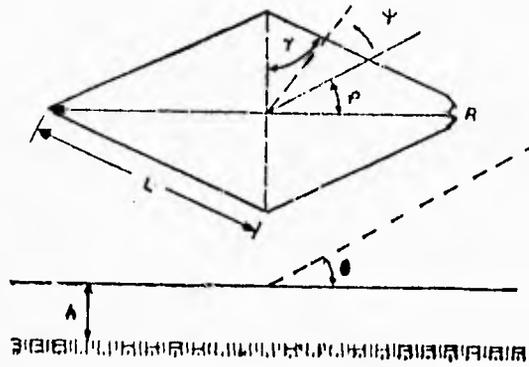


e) Antena Reflector Parabólico

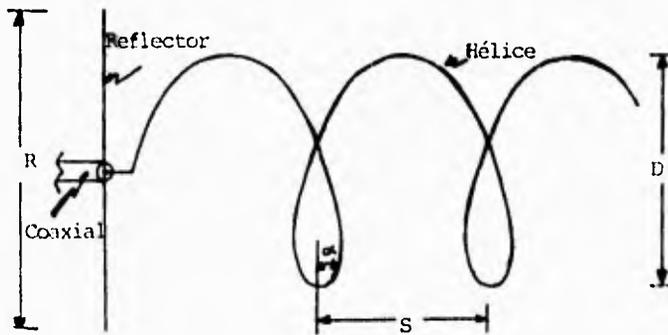


f) Configuraciones de antena de microcinta

FIGURA 2 Tipos de Antenas

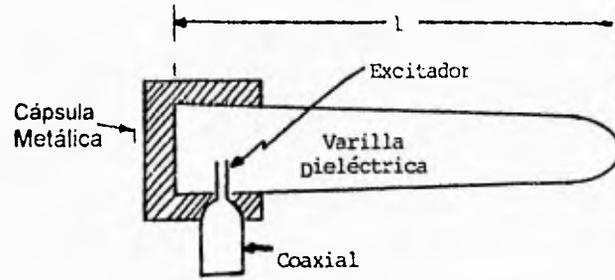


g) Sistema de Referencia para la Antena Rómbica

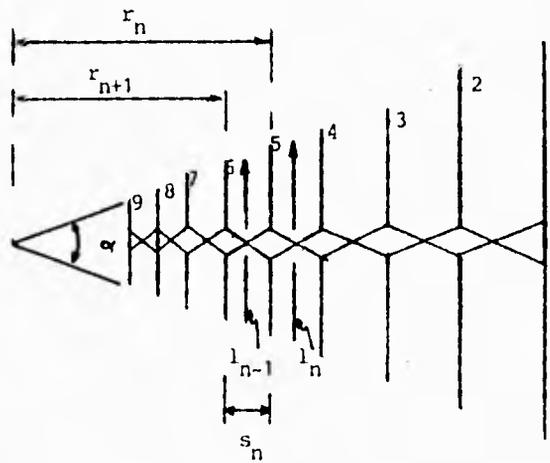


h) Antena Helicoidal

FIGURA 2 Tipos de Antenas

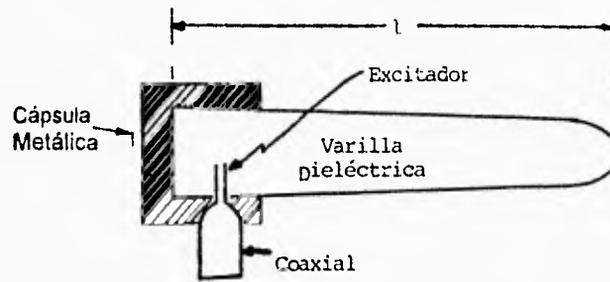


i) Antena Dieléctrica

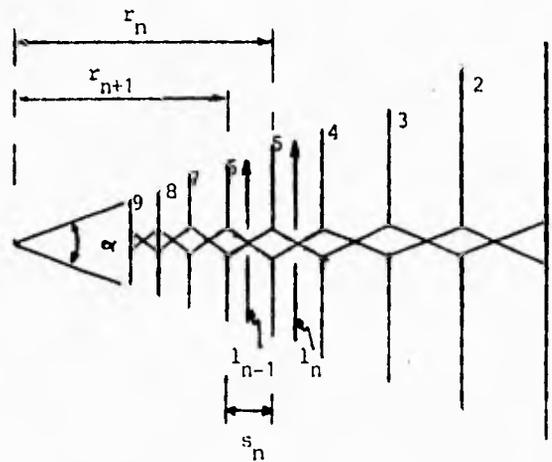


j) Antena Logoperiódica.

FIGURA 2 Tipos de Antenas

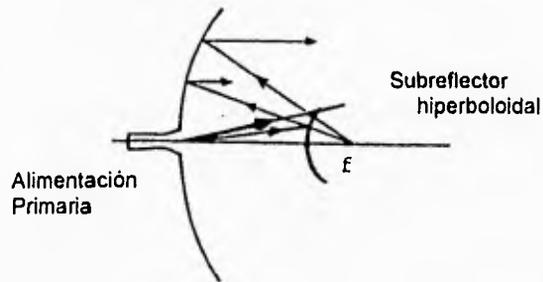


i) Antena Dieléctrica

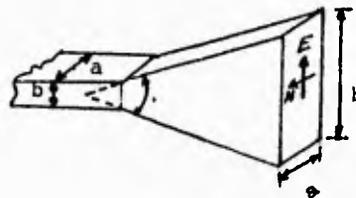


j) Antena Logoperiódica.

FIGURA 2 Tipos de Antenas



k) Sistema Alimentador de Cassegrain



l) Antena de bocina en el plano E

FIGURA 2. Tipos de Antenas

La característica de radiación puede utilizarse para obtener el ancho (o abertura angular) del haz principal y el nivel del lóbulo lateral. El ancho del haz principal se especifica como la diferencia angular entre los dos puntos donde la potencia ha caído a la mitad del valor de la cresta, o -3 dB. El nivel del lóbulo lateral representa el mayor nivel del lóbulo menor como fracción del nivel del haz principal.

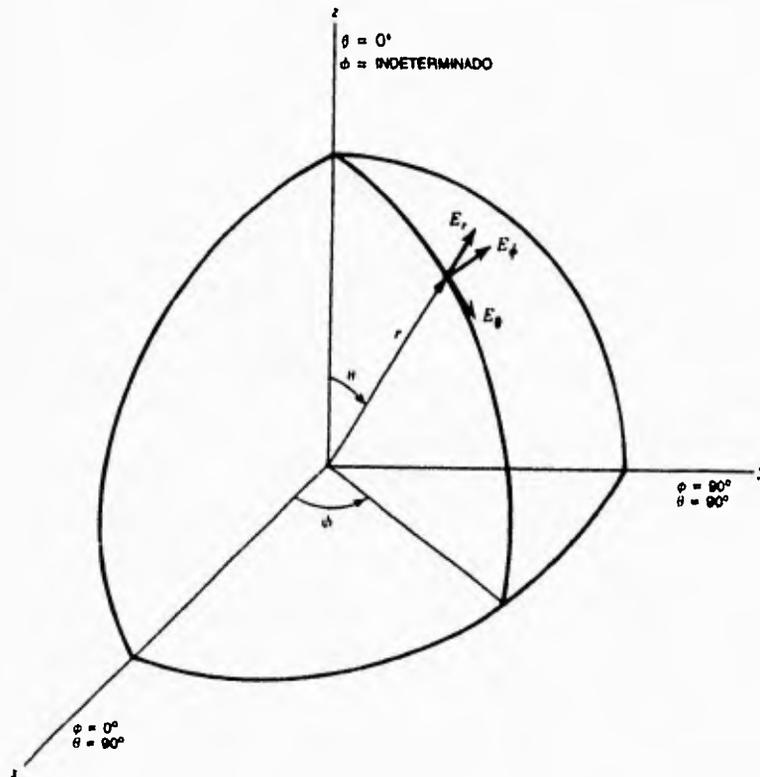


FIGURA 3 Sistema de coordenadas esféricas utilizado en el análisis de antenas.

El espacio que rodea a una antena suele subdividirse en tres regiones o zonas:

1. Región reactiva de campo próximo.
2. Región radiante de campo próximo (de Fresnel)
3. Región de campo lejano (de Fraunhofer)

La primera de estas regiones está muy cerca de la antena, donde las componentes reactivas de los campos electromagnéticos son muy grandes respecto a los campos radiantes. La segunda región se encuentra localizada entre la región reactiva del campo cercano y la del campo lejano, donde los campos radiantes predominan y donde la distribución de campo angular depende de la distancia a la antena. La **región de campo lejano** se define como la zona donde la distribución del campo angular es independiente de la distancia a la antena. Su frontera interior se toma como la distancia radial $R = 2D^2 / \lambda$, donde D es el diámetro de la antena y λ es la longitud de onda, mientras que la frontera exterior se localiza en el infinito. Es en esta región donde se mide la característica de radiación de la antena.

Directividad, ganancia y eficiencia. La directividad de una antena es una medida de sus propiedades direccionales o de su capacidad de concentrar la potencia radiada en distintas direcciones. Por tanto, la directividad $D(\theta, \phi)$ en una dirección específica (θ, ϕ) está dada por la razón de la intensidad de la radiación de la antena en la dirección (θ, ϕ) entre la intensidad de la radiación producida por un radiador isotrópico:

$$D(\theta, \phi) = \frac{U(\theta, \phi)}{U_0} = \frac{U(\theta, \phi)}{(P_{rad}/4\pi)}$$

donde

$U(\theta, \phi)$ = intensidad de la radiación de la antena en la dirección (θ, ϕ) ,
[W/ángulo sólido unitario].

U_0 = intensidad de la radiación de la fuente isotrópica, [W/ángulo sólido unitario].

P_{rad} = potencia total radiada por la antena, [W].

En términos de la intensidad del campo eléctrico lejano $E(\theta, \phi)$ la directividad puede expresarse como

$$D(\theta, \phi) = \frac{|E(\theta, \phi)|^2}{\frac{1}{4\pi} \int_0^\pi \int_0^{2\pi} |E(\theta, \phi)|^2 \sin \theta d\theta d\phi}$$

Aún cuando la directividad puede especificarse en cualquier dirección, se acostumbra hacer referencia al valor de cresta asociado con la dirección del haz principal radiado por la antena, por consiguiente, en cualquier referencia a la directividad de una antena, el factor de cresta D_0 suele estar implicado. Por ejemplo, un elemento de corriente lineal corto (también denominado dipolo Hertz) tiene directividad de cresta de 1.5 ó 1.76 dB con respecto a una fuente isotrópica, mientras que el dipolo de media onda más largo tiene directividad de 1.64 ó 2.14 dB.

Para antenas con haz principal estrecho y lóbulos menores bastante despreciables la directividad de cresta puede aproximarse por medio de:

$$D_0 \approx \frac{41253}{\theta_{1d}\theta_{2d}} \quad (\text{ec. 1})$$

donde θ_{1d} es el ancho del haz (en grados) entre los puntos de potencia promedio en un plano principal y θ_{2d} es ese ancho en otro plano principal perpendicular.

Otra medida útil para describir el rendimiento de una antena es su ganancia, ya que además de determinar las propiedades direccionales de la antena, también nos proporciona su eficiencia. La ganancia de potencia $G(\theta, \phi)$ en una dirección dada se

define como la razón de la intensidad de la radiación de la antena en tal dirección, entre la intensidad de la radiación producida por una fuente isotrópica sin pérdidas que tenga la misma potencia total de entrada que la antena:

$$G(\theta, \phi) = \frac{U(\theta, \phi)}{(P_{ent}/4\pi)} \quad (\text{ec. 2})$$

donde

P_{ent} es la potencia de entrada total aceptada por la antena procedente de un transmisor .

A diferencia de lo que ocurre en el caso de la directividad, en la expresión de la ganancia de potencia se incluye el efecto de las pérdidas óhmicas. Sin embargo, no se incluyen las pérdidas debidas al desacoplamiento de impedancia entre la antena y la línea de transmisión o las debidas al desacoplamiento de polarización en una antena receptora. En cualquier caso, la ganancia de potencia es menor que la directividad por un factor igual a la eficiencia de radiación η de la antena:

$$\eta = \frac{G(\theta, \phi)}{D(\theta, \phi)} \quad (\text{ec. 3})$$

Tanto la ganancia como la directividad pueden estar referidas a cualquier antena normal, tal como un dipolo de media onda o una bocina en vez del radiador isotrópico utilizado aquí.

Aún cuando la reciprocidad asegura que los valores calculados de ganancia se aplican tanto a una antena de transmisión como a una de recepción, el rendimiento de la

segunda también puede describirse en términos del área efectiva de una sección transversal de la misma. Una antena receptora reunirá energía efectiva de una onda plana incidente, y si se acopla adecuadamente, transferirá esta potencia a una carga. La proporción de energía incidente que será destinada a la carga está en función de las propiedades de polarización de la antena y su ganancia en la dirección de la onda plana incidente.

La **abertura efectiva de una antena** puede definirse como el área de una antena ideal que podría absorber la misma potencia de una onda plana incidente que la antena en cuestión. El área efectiva de una antena receptora es función del ángulo de llegada de la onda incidente y está relacionada con la ganancia de potencia por:

$$A_{ef}(\theta, \phi) = \frac{\lambda^2}{4\pi} G(\theta, \phi) \quad (\text{ec. 4})$$

donde $\lambda^2/4\pi$ es el área efectiva de un radiador isotrópico. La eficiencia de apertura evalúa la apertura efectiva como una fracción de la apertura física de la antena. Esta idea es útil para antenas que tienen una apertura de captación bien definida, como es el caso de las antenas de apertura.

$$\eta_{\text{apertura}} = \frac{A_{ef}}{A_{fis}} \quad (\text{ec. 5})$$

Por ejemplo, la eficiencia de apertura de las antenas con reflector se encuentra en el intervalo del 50 al 70 %.

Ancho de banda. Este término se utiliza para describir el intervalo de frecuencias sobre el cual una antena funcionará satisfactoriamente. No existe una definición única para el rendimiento satisfactorio, ya que éste depende de la aplicación de la antena. Por lo general es posible distinguir entre un ancho de banda determinado por consideraciones de características de radiación y un ancho de banda definido por su impedancia. Asociados con el primer caso están características como la ganancia, el nivel del lóbulo lateral, el ancho del haz, mientras que con el segundo caso se asocian la impedancia de entrada y la eficiencia de radiación.

En la práctica, por lo general uno o más parámetros de la antena son más sensibles al cambio de frecuencia que otros y por tanto pueden constituirse en un factor limitante del ancho de banda. Esto es cierto sólo si la variación de tales parámetros está restringida por los límites de funcionamiento impuestos por la aplicación.

Para antenas de banda amplia el ancho de banda suele expresarse como la razón de las frecuencias superior e inferior en la banda aceptable (por ejemplo, 10:1). Para antenas de banda estrecha, el ancho de banda se expresa como el porcentaje de la frecuencia de la banda central (por ejemplo, 5%). Los factores físicos del diseño que limitan el ancho de banda varían de una antena a otra. En los elementos monopolares, dipolares, de ranura y de microcinta (microbanda), las estructuras son resonantes a frecuencias particulares y el ancho de banda se determina por las características de impedancia en las terminales de entrada. Por otra parte, los radiadores de bocina (o embudo) están limitados en banda por la naturaleza modal de la propagación de ondas en la estructura de la guía de onda.

Polarización. La polarización en una onda electromagnética a una sola frecuencia describe la forma del lugar geométrico del extremo del vector de campo eléctrico

instantáneo como función del tiempo en una ubicación fija en el espacio y el sentido en que se traza el lugar geométrico según se observa a lo largo de la dirección de propagación. Un sólo elemento de corriente orientado a lo largo del eje x radiará una onda linealmente polarizada con un vector de campo eléctrico orientado en la dirección x . Una antena más complicada puede radiar una onda cuyo vector de campo eléctrico tenga componentes x e y . Si las dos componentes E_x y E_y difieren en fase por 0 ó 180° , la onda seguirá estando polarizada linealmente. Si las dos componentes tienen igual magnitud y diferencia de fase de $\pm 90^\circ$, el vector de campo eléctrico resultante en un punto dado del espacio girará a velocidad angular ω , de tal modo que su extremo describirá una circunferencia. En este caso se dice que la onda está polarizada circularmente. En general, si las dos componentes tienen amplitudes y diferencia de fases arbitrarias, el campo eléctrico instantáneo describirá una elipse y la onda se denominará como polarización elíptica. Además cuando la rotación alrededor de la elipse o circunferencia es en sentido horario, la polarización se denomina a la derecha (dextrógira); en caso contrario, se denomina a la izquierda (levógira).

Si la polarización de la onda incidente no coincide con la polarización de la antena receptora, tiene lugar una pérdida de polarización por desacoplamiento, que siempre debe ser tomada en cuenta en el diseño de los cálculos de enlace, especialmente en aplicaciones limitadas en cuanto a potencia.

Impedancia de entrada. Una antena debe estar conectada a un transmisor por medio de una línea de transmisión o guía de onda, a fin de ser excitada y producir radiación. La impedancia de entrada de la antena que se presenta ante la línea de alimentación constituye un parámetro importante, cuyo valor es necesario para el diseño de redes (circuitos) de acoplamiento eficientes que aseguren la máxima

transferencia de potencia. La impedancia de entrada de la antena tiene en general una componente resistiva y una componente reactiva:

$$Z_A = R_A + jX_A \quad (\text{ec. 6})$$

La componente reactiva se debe a los campos de inducción de la región próxima, debido a que éstos producen un almacenamiento de energía reactiva en la región que rodea la antena. La componente resistiva de la impedancia de entrada tiene contribuciones de todos los diversos elementos que provocan una pérdida de energía de la antena. En el caso de una antena en el espacio libre, donde no existe acoplamiento mutuo de otras fuentes, la resistencia de la antena puede concebirse como la suma de la resistencia de radiación R_r y la resistencia óhmica R_L :

$$R_A = R_r + R_L \quad (\text{ec.7})$$

La **resistencia de radiación** se define como la resistencia equivalente que disiparía una potencia igual a la potencia radiada cuando la corriente a través de la resistencia es igual a la corriente en las terminales de entrada de la antena. La resistencia óhmica explica las pérdidas debidas a una conductividad finita en la estructura de la antena. Para una antena eficaz, la resistencia de radiación debe ser mucho mayor que la óhmica. Por ejemplo un dipolo delgado práctico de media onda tiene una resistencia de radiación de 73Ω y una resistencia óhmica de unos 2Ω .

La medición de la impedancia de entrada a altas frecuencias suele efectuarse midiendo el coeficiente de reflexión y la razón de voltajes de ondas estacionarias (**VSWR - Voltage Standing Wave Ratio**). Esta última se relaciona con la magnitud del coeficiente de reflexión $|\Gamma|$ por medio de :

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (\text{ec. 8})$$

La impedancia de la antena Z_A , está dada por:

$$Z_A = Z_0 \left(\frac{1+\Gamma}{1-\Gamma} \right) \quad (\text{ec. 9})$$

donde Z_0 es la impedancia característica de la línea de transmisión.

Antenas con elemento de corriente.

Estas antenas son los radiadores de mayor uso en la actualidad y pueden ser del tipo de corriente magnética, como la antena de ranura. El análisis se limitará aquí a los polos de longitud de onda corta y de onda media.

Considérese un dipolo corto, infinitamente delgado, colocado a lo largo del eje z , como se muestra en la figura 3. En la región de campo lejano, la radiación consta de una onda electromagnética transversal que se propaga alejándose del dipolo, y está dada por:

$$E_\theta = j60\pi \frac{I\Delta z}{r\lambda} \theta \sin \theta$$

$$H_\phi = \frac{E_\theta}{\eta_0} \quad (\text{ec. 10 y ec. 11})$$

donde

- I = corriente constante en el dipolo, [A]
- Δz = longitud del dipolo, [m]
- λ = longitud de onda, [m]

$K = 2\pi/\lambda =$ constante de propagación, [rad/m]

$j = \sqrt{-1}$

$\eta_0 = 377$ ohms = impedancia del espacio libre, [Ω]

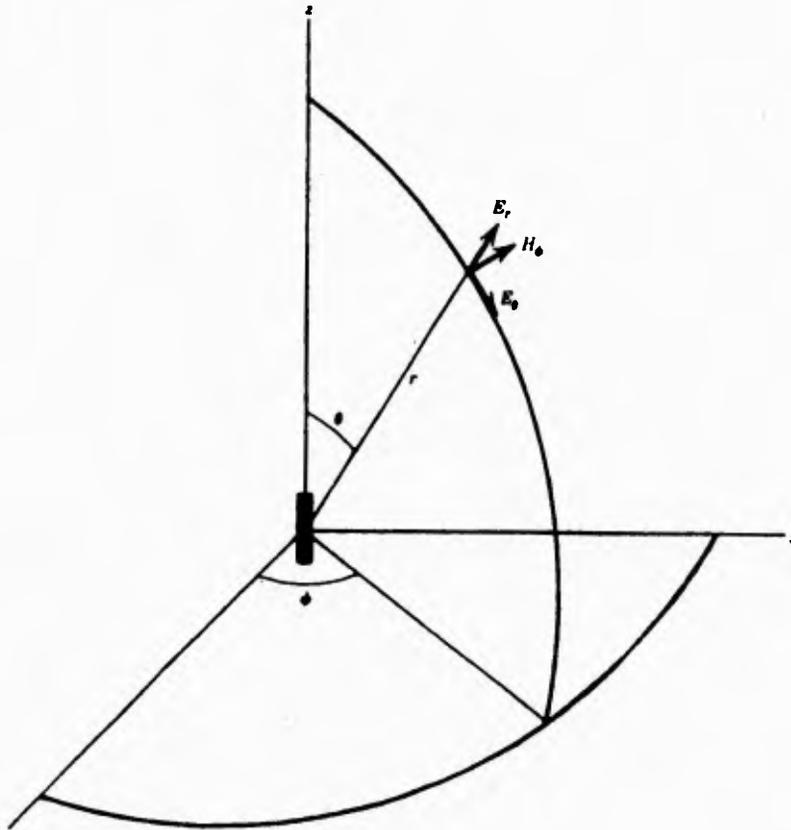


FIGURA 4. Cálculo de los campos radiados de un dipolo corto.

Si la longitud del dipolo se incrementa a la mitad de una longitud de onda ($\lambda/2$), la distribución de corriente deja de ser uniforme, aunque en una primera aproximación es igual a $I(Z) = I_0 \cos KZ$. Entonces el campo lejano está dado por:

$$E_{\theta} = j60I_0 \frac{e^{-jkr} \cos[(\pi/2) \cos \theta]}{r \sin \theta} \quad (\text{ec. 12})$$

Antenas de abertura.

Existe un gran número de tipos de antenas para los cuales el campo electromagnético irradiado puede considerarse como si emanara de una abertura física. Entre las antenas comprendidas en esta clase se incluyen varios tipos de reflectores, lentes y bocinas, por mencionar unas cuantas. En general, la abertura es un orificio finito en un plano infinito. Tanto el campo eléctrico como el magnético en la región de la abertura se determinan en primer lugar por medio de métodos de aproximación; después se calculan los campos radiados, utilizando como fuentes solamente los campos en la superficie de la abertura.

Redes de antenas.

Estas antenas están constituidas por un grupo de elementos radiantes dispuestos en algún arreglo geométrico y eléctrico. La característica total del arreglo (también llamado sistema o red) se obtiene multiplicando la característica de un elemento individual (factor del elemento) y la característica debida a un sistema de fuentes puntuales isotrópicas (factor del sistema). El factor del sistema depende, por lo general, de su orientación geométrica, de la separación entre elementos y de la excitación de éstos.

Usualmente los elementos radiantes individuales tienen bajas directividades, por lo cual la característica del sistema está determinada en gran medida por el factor del propio sistema, aunque puede haber excepciones para esta regla. Algunos elementos típicos de los sistemas son los dipolos, monopolos, guías de ranura de onda, guías de onda de extremo abierto y radiadores de microbanda. La elección de un elemento específico para una aplicación en particular depende de varios factores, tales como la frecuencia, capacidad de manejo de la potencia de polarización, configuración de alimentación, etc. El arreglo (red) se denomina lineal cuando los elementos se encuentran en línea recta, planar cuando se encuentran en un plano, es decir, reciben el nombre de acuerdo a la configuración geométrica que tengan los elementos, como lo sería una circunferencia o una esfera.

C.2 PROPAGACION

Propagación en el espacio libre.

El **espacio libre** se define idealmente como un medio homogéneo sin corrientes o cargas conductoras presentes y sin objetos que absorban o reflejen energía radioeléctrica. Este concepto se utiliza debido a que simplifica el entendimiento de la propagación de ondas porque las condiciones en que se ésta se realiza algunas veces se aproxima a las del espacio libre, especialmente a frecuencias en la región superior de ultra-alta frecuencia. El alcance de propagación de las ondas de radio en el espacio libre solamente es limitado por la atenuación de la señal a medida que la onda se desplaza alejándose de la fuente de radiación. La pérdida de transmisión o de trayectoria está dada por la ley del cuadrado inverso de la óptica aplicada a la radiotransmisión. La atenuación de la trayectoria entre dos antenas isotrópicas está dada por:

$$L_p = \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 \quad (\text{ec. 13})$$

donde

L_p = pérdida de trayectoria o razón numérica de la potencia transmitida entre la potencia recibida (P/P)

λ = longitud de onda

d = longitud de la trayectoria

Nótese que las cantidades físicas tienen las mismas unidades. Una forma más conveniente de expresar la pérdida de trayectoria es:

$$L_p = 32.5 + 20 \log f + 20 \log d \quad (\text{ec. 14})$$

donde

L_p = pérdida de trayectoria, [dB]

f = frecuencia, [MHz]

d = longitud de la trayectoria, [Km]

Espectro electromagnético.

La velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas en el espacio libre es de importancia fundamental. Este valor es igual a la velocidad de la luz en el espacio libre, designada por la letra c . El valor de c es 186 283 millas terrestres por segundo o 299793 Km/s, que para la generalidad de los casos se redondea a 186 000 mi/s o a 3×10^8 m/s. En medios diferentes al espacio libre, la velocidad de las ondas electromagnéticas suele ser menor, dependiendo de las características del medio de propagación en cuestión. Otro parámetro de las ondas electromagnéticas es la

longitud de onda, que es igual a la distancia que recorre la onda durante el período de un ciclo. Se denota λ_0 para el espacio libre y está relacionada con la velocidad por la expresión

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} \quad (\text{ec. 15})$$

donde la longitud de onda λ_0 está en metros, la velocidad c en metros por segundo y la frecuencia f en ciclos por segundo o hertz. Ya que los diversos fenómenos de propagación de ondas dependen en gran parte de la frecuencia de la onda, en la tabla 2 se muestra todo el espectro electromagnético. Obsérvese la subdivisión del espectro de radio en varias bandas, conforme a la costumbre aceptada. Las frecuencias y longitudes de onda se presentan en unidades de radio usuales.

Efectos atmosféricos.

En el concepto de transmisión en el espacio libre se supone que la atmósfera es perfectamente uniforme y no absorbente, y que la Tierra se encuentra infinitamente lejos o que su coeficiente de reflexión es despreciable. En la práctica, durante la propagación cerca de la tierra, las ondas se reflejan en el suelo, montañas y construcciones; son refractadas a medida que pasan a través de capas atmosféricas de diferentes densidades o diferentes grados de ionización. Asimismo, las ondas electromagnéticas pueden difractarse alrededor de grandes obstáculos e incluso pueden interferir entre sí, como cuando dos ondas provenientes de la misma fuente se encuentran después de haber recorrido trayectorias diferentes. Las ondas también pueden ser absorbidas por diversos átomos y moléculas que se encuentren en la atmósfera. Algunos de esos efectos son deseables, hasta cierto punto, en el caso de enlaces de muy baja frecuencia (VLF - **Very Low Frequency**), de baja frecuencia (LF- **Low Frequency**), de mediana frecuencia (MF- **Medium Frequency**), de alta

Designación de la banda	Intervalo de frecuencia	Intervalo de longitud de onda en el espacio libre
Extremadamente baja frecuencia (EL)	< 3 KHz	>100 km
Muy baja frecuencia (VLF)	3 - 30 KHz	10 - 100 km
Baja frecuencia (LF)	30 -300 KHz	1 - 10 km
Frecuencia media (MF)	300 KHz - 3 MHz	100 m - 1 km
Alta frecuencia (HF)	3 - 30 MHz	10 - 100 m
Muy alta frecuencia (VHF)	30 - 300 MHz	1 -10 m
Ultra-alta frecuencia (UHF)	300 MHz - 3 GHz	10 cm - 1 cm
Super-alta frecuencia (SHF)	3 -30 GHz	1 -10 cm
Extremadamente alta frecuencia (EHF)	30 - 300 GHz	1 -10 mm
Infrarrojo	8×10^{11} - 4×10^{14} Hz	80 - 400 μ m
Luz visible	4×10^{14} - 7.5×10^{14} Hz	40 - 80 μ m
Luz ultravioleta	7.5×10^{14} - 10^{16} Hz	1.2 - 40 μ m
Rayos X, rayos gamma	10^{16} - 10^{20} Hz	0.6 μ m - 1.2 μ m
Rayos cósmicos	> 10^{20} Hz	< 0.6 μ m

Tabla 2. Espectro electromagnético.

frecuencia (HF - **High Frequency**) , debido a su ayuda en el establecimiento de una trayectoria de comunicación entre el transmisor y el receptor, siendo lo mismo en el caso de la tropodispersión (dispersión troposférica). Sin embargo, en un enlace de comunicación en línea recta, esos efectos dificultan la función de comunicación y dan por resultado desvanecimiento temporal o sencillamente atenuación en el nivel de la portadora. A continuación se analizarán brevemente cada uno de estos efectos atmosféricos.

Absorción atmosférica.

De los principales gases presentes en la atmósfera, el vapor de agua y el oxígeno son los que absorben más energía de las ondas electromagnéticas; el primero debido a su momento dipolar eléctrico, y el segundo a su momento dipolar magnético. Por fortuna, la absorción atmosférica a frecuencias por debajo de 10 GHz es bastante insignificante. Por ejemplo, para la comunicación atmosférica a larga distancia no se recomiendan frecuencias como 60 y 120 GHz. Asimismo, es mejor no utilizar 23 ó 180 GHz, excepto en ambientes de aire fresco.

Refracción atmosférica.

Los fenómenos de refracción atmosférica que se observan en la radiopropagación se deben a variaciones en el índice de refracción del aire a medida que aumenta la altitud. En condiciones normales, el índice de refracción de la atmósfera decrece ligeramente de forma lineal, con la altitud, ya que la densidad de la atmósfera tiende a variar con ésta, ocurre la refracción y la onda "directa" se curva un poco en vez de desplazarse estrictamente en línea recta, lo que produce que el horizonte radioeléctrico (radiohorizonte) aumente. Básicamente, lo que ocurre es que la parte inferior del frente de onda se desplaza en una atmósfera más densa que la parte

superior, por lo que se mueve con más lentitud, debido a lo cual el frente de onda se curva hacia abajo.

La flexión uniforme puede representarse mediante la propagación en línea recta, pero con la refracción pareciera que el radio de la Tierra fuese diferente del verdadero. Debido a esto el radio de la Tierra se modifica, de tal modo que la curvatura relativa entre los rayos radiales y la Tierra no varíe. El nuevo radio de la Tierra se denomina radio terrestre efectivo, y la razón entre los radios efectivo y real de la Tierra se designa por K. El valor medio de K en condiciones normales es aproximadamente 4/3 del valor medio verdadero, que es de 6378 km, dando como resultado 8500 km. La distancia al radiohorizonte sobre la Tierra llana, cuando la altitud *h* es muy pequeña en comparación con el radio terrestre, está dada por:

$$d_h = \left(\frac{3Kh}{2}\right)^{1/2} \quad (\text{ec. 16})$$

donde

d_h es la distancia al radiohorizonte en millas, y

h es la altitud por encima de la superficie terrestre, en pies².

Difracción por obstáculos.

Las señales que se propagan sobre una línea recta pueden recibirse inclusive en la parte posterior a la línea de vista de edificios grandes, montañas y otros obstáculos semejantes, como resultado de la difracción. El fenómeno de la difracción se explica mejor aplicando los conceptos introducidos por Fresnel en el terreno de la óptica.

Reflexiones por la superficie terrestre.

Las reflexiones debidas a la superficie terrestre pueden afectar severamente el nivel de la señal recibida.

El caso más sencillo por considerar es la reflexión debida a una superficie terrestre plana, como se muestra en la figura 5. La onda resultante en el receptor R consta del rayo dirigido TR y del rayo reflejado OR.

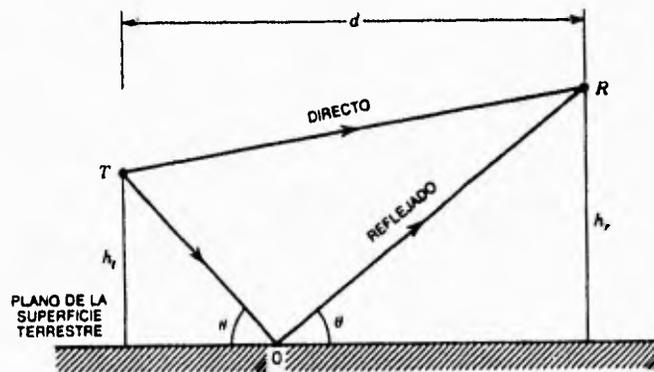


FIGURA 5. Reflexión debida a una superficie terrestre plana, donde T = transmisor, y R= receptor.

La reflexión provoca atenuación y defasamiento a lo largo del rayo indirecto (reflejado), lo cual puede explicarse por medio del coeficiente de reflexión, el cual nos indica la relación de la intensidad de campo del rayo reflejado entre la intensidad de campo del rayo incidente, esto es:

$$\Gamma = \zeta e^{i\Psi} \quad (\text{ec. 17})$$

donde ζ y Ψ son la magnitud y fase del coeficiente de reflexión, respectivamente. La diferencia de trayectoria entre los rayos reflejado (indirecto) y directo será:

$$S = (TO + OR) - TR \quad (\text{ec. 18})$$

En la práctica h_t y h_r son pequeños en comparación con d , así que la diferencia de trayectoria puede aproximarse por:

$$S \approx \frac{2h_t h_r}{d} \quad (\text{ec. 19})$$

Por consiguiente, el receptor recibe, además de la onda directa, una onda reflejada con amplitud relativa ζ y defasamiento α , que es el resultado del retraso debido a la diferencia de trayectoria S , junto con el defasamiento Ψ debido a la reflexión; el defasamiento total está dado por:

$$\alpha = \Psi - \frac{2\pi S}{\lambda} = \Psi - \frac{4\pi h_t h_r}{\lambda d} \quad (\text{ec. 20})$$

Para ondas polarizadas horizontalmente, ζ es casi la unidad y Ψ es igual a 180° para casi todos los tipos de terreno y ángulos de incidencia, lo que no sucede para ondas polarizadas verticalmente, ya que ζ y Ψ varían considerablemente en función de los mencionados parámetros.

Tipos de ondas de propagación en la atmósfera.

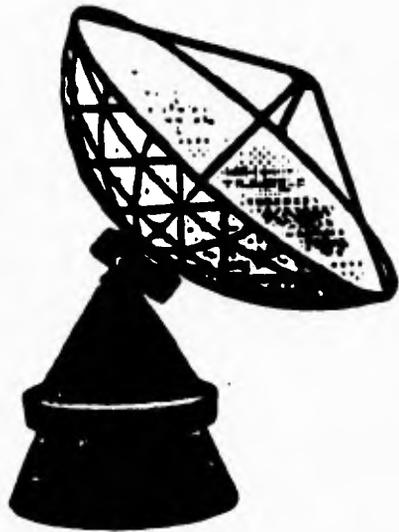
En general, las ondas se desplazan en línea recta, excepto donde la presencia de la Tierra y su atmósfera tienden a modificar la trayectoria. Por consiguiente, si el efecto de la refracción provocado por densidad atmosférica cambiante no se toma en cuenta, es posible afirmar que las frecuencias por encima del intervalo de HF suelen desplazarse en línea recta y propagarse por medio de las denominadas ondas espaciales. Las frecuencias por debajo de este intervalo se desplazan siguiendo la curvatura de la Tierra mediante un efecto de guía de onda acoplado por difracción. La superficie del planeta y la capa ionizada más baja de la atmósfera forman los dos muros de la guía de onda. La onda de propagación se denomina en este caso, onda terrestre o superficial.

Las ondas en el intervalo HF son reflejadas por las capas ionizadas de la atmósfera y se denominan ondas celestes o espaciales. Las señales en la banda HF se transmiten hacia el cielo, donde son reflejadas por las capas ionosféricas y regresan mucho más allá del horizonte. Una comunicación a larga distancia, popularmente conocida como onda corta, es posible cuando estas ondas son reflejadas de forma alternada una y otra vez por la tierra y la ionósfera hasta llegar a receptores situados en lados opuestos del planeta.

Propagación HF. La ionósfera es la región menos densa que se extiende desde los 50 Km hasta 400 Km de altitud aproximadamente. Durante el día está bombardeada por la radiación solar, de modo que el aire rarificado se ioniza por efecto de las emisiones de rayos ultravioleta y rayos X. Diferentes partes del espectro solar son absorbidos a distintas altitudes, de modo que se forman varias capas ionizadas. Las capas superiores reflejan ondas de radio, mientras que las inferiores atenúan las ondas que pasan a través de ellas.

Dado que la densidad de ionización de la atmósfera superior puede calcularse aproximadamente a partir de la hora , estación, latitud y número de manchas solares, es posible predecir frecuencias y atenuaciones críticas para la mayor parte de los fines prácticos, excepto durante el pico del ciclo solar con una duración de 11 años. En este período crítico la actividad solar es muy intensa y podría producirse una pérdida total de la comunicación HF en toda la banda.

APENDICE D



D. REDES DE TELEINFORMATICA.

Las redes de comunicación de computadoras desempeñan una o ambas, de las siguientes funciones:

- 1.- Conectan a usuarios (dispositivos de terminal) con una o más computadoras compartidas y posiblemente con otros usuarios.
- 2.- Conectan las computadoras entre sí.

La escala de estas redes varía desde las redes mundiales, pasando por las que conectan dispositivos en un edificio o en varios (redes de área local), hasta las redes de ductos que conectan muchos microprocesadores en un solo dispositivo (multiprocesadores).

Elementos de las redes.

Las redes de comunicación, al ser redes, constan de nodos y enlaces que los conectan. Los nodos, a su vez, son de dos tipos: **dispositivos de terminación**, en los que entran y salen datos de la red para su transferencia, y **dispositivos de comunicación**, que realizan las funciones de la red. Entre los dispositivos de terminación se cuentan las terminales, computadoras anfitrionas y compuertas de enlace con otras redes. Entre los dispositivos de comunicación se incluyen los conmutadores, concentradores, multicanalizadores, procesadores de comunicaciones y controladores de redes. Los enlaces que conectan estos nodos corresponden a los canales de transmisión.

Dispositivos de terminación.

Terminales. Los dispositivos terminales varían desde sensores de baja velocidad, tales como alarmas contra robo, que operan a unos cuantos bits por segundo, hasta la televisión digital de movimiento total que opera en la vecindad de los 90 millones de bits por segundo (bps). Los dispositivos terminales más comunes son los teleimpresores, que operan en el intervalo de los 50 a 1200 bps; terminales de tubo de rayos catódicos (CRT) y de graficado, que operan en el intervalo de 110 a unos 9600 bps; y terminales de entrada de trabajos remotos, que operan en el ámbito de los 2000 a 50000 bps.

Anfitrionas. Son computadoras conectadas a la red, que proporcionan servicios de procesamiento de información a dispositivos de terminación de otras redes.

Compuertas de enlace. Las compuertas de enlace o de paso son dispositivos terminales especiales que actúan como interfaces entre redes de comunicación de computadoras. Una compuerta de enlace puede ser al mismo tiempo un nodo en más de una red, o bien su función puede implementarse en "mitades" de la compuerta, donde una mitad en cada red convierte los datos que pasan entre las redes en una forma que pueda entender la mitad correspondiente en la otra red, empleando canales exteriores a ambas redes.

Dispositivos de comunicación.

Los dispositivos de comunicación realizan una amplia variedad de funciones, las más importantes son la multicanalización, concentración, conmutación, interrogación y vinculación. Las cuatro primeras son las formas de utilizar de manera más eficiente los recursos de transmisión.

D. REDES DE TELEINFORMATICA.

Las redes de comunicación de computadoras desempeñan una o ambas, de las siguientes funciones:

- 1.- Conectan a usuarios (dispositivos de terminal) con una o más computadoras compartidas y posiblemente con otros usuarios.
- 2.- Conectan las computadoras entre sí.

La escala de estas redes varía desde las redes mundiales, pasando por las que conectan dispositivos en un edificio o en varios (redes de área local), hasta las redes de ductos que conectan muchos microprocesadores en un solo dispositivo (multiprocesadores).

Elementos de las redes.

Las redes de comunicación, al ser redes, constan de nodos y enlaces que los conectan. Los nodos, a su vez, son de dos tipos: **dispositivos de terminación**, en los que entran y salen datos de la red para su transferencia, y **dispositivos de comunicación**, que realizan las funciones de la red. Entre los dispositivos de terminación se cuentan las terminales, computadoras anfitrionas y compuertas de enlace con otras redes. Entre los dispositivos de comunicación se incluyen los conmutadores, concentradores, multicanalizadores, procesadores de comunicaciones y controladores de redes. Los enlaces que conectan estos nodos corresponden a los canales de transmisión.

Entre los dispositivos más utilizados para la comunicación entre redes se encuentran los **bridges** (puentes) y **routers** (ruteadores). Un bridge conecta una red separada físicamente convirtiéndola a una sola red lógica; en contraste un router conecta dos redes separadas físicamente en una sola red, donde cada red conserva una identidad lógica como un segmento separado de red. La mejor manera de entender esto y otras diferencias entre bridge y router es en términos del modelo OSI (**Open System Interconnection**) de la ISO (**International Standard Organization**). El modelo OSI es internacionalmente reconocido para la comunicación de datos, provee una simple representación de como se mueve la información a través de una red, el modelo sirve como fundamento para entender y caracterizar una estrategia total de interconexión de redes. La relación entre los servicios de un bridge y un router del modelo OSI se muestra en la figura 1, la cual muestra también las funciones del repetidor (**repeater**) y compuertas de paso (**gateways**).

Un repetidor opera solamente en la capa física (capa 1), regenerando señales y permitiendo extender la longitud de transmisión de señales en la red. Un gateway es un dispositivo de conversión de protocolo operando en cualquiera de las capas del modelo OSI, realiza la conversión entre dos protocolos diferentes en la red.

El bridge, realiza la mayor parte de su trabajo en la capa de enlace de datos (capa 2), mientras que el router trabaja en la capa de red (capa 3). Esta diferencia es importante ya que la capa en la que cada tipo de sistema trabaja afecta su operación y capacidades.

La forma más común de puenteo (**bridging**) es conocida como "puenteo transparente", en éste solamente se ve a la red en términos de direcciones de dispositivos, a las que

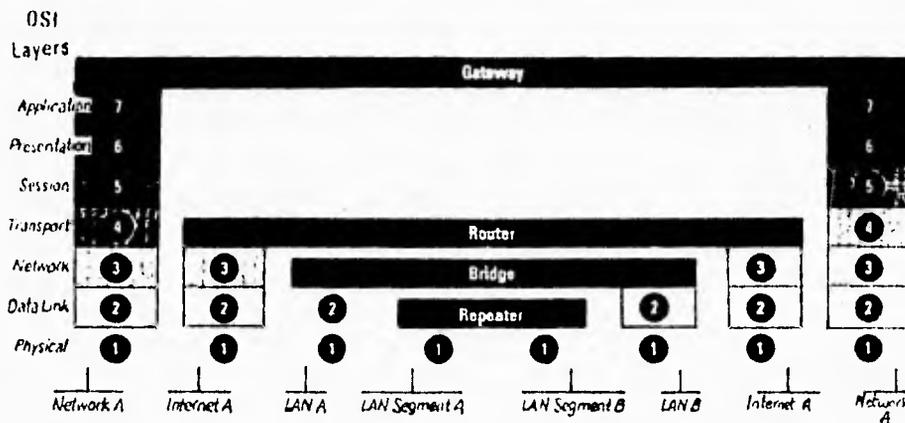


FIGURA 1. Funciones de los repetidores, compuertas y ruteadores de acuerdo al modelo OSI.

utiliza las direcciones como base para la toma de decisiones en el manejo de paquetes (las unidades básicas de información que son transmitidas a través de la red).

Los bridges no tienen acceso a las direcciones de información de la capa superior, la capa de red, y por lo tanto, solo pueden tomar decisiones muy limitadas acerca de posibles trayectorias o rutas a través de la red. Como resultado de la capacidad tan pobre en la toma de decisiones, los bridge son diseños relativamente simples y de bajo costo, lo cual representa una forma económica de interconexión de redes.

Los routers, de otra manera, ven la red en términos de direcciones de dispositivos y trayectorias de comunicación. Los routers aprenden y entienden todas las posibles trayectorias entre dos puntos en una red, y conocen cual es la trayectoria más corta y otras características, tales como, estatus de operación, ancho de banda o costo. Dada la información disponible para los routers pueden realizar más cosas con los paquetes que los bridges. Como resultado el software utilizado en un router es más sofisticado que el software utilizado por un bridge y por lo tanto, provee más control sobre las operaciones de la red.

Hoy en día, los bridges y routers están contenidos en la misma plataforma de hardware y la funcionalidad es realizada por el software con el que estos sistemas están configurados.

Existen dos tipos básicos de bridges y routers; locales y de área amplia (remotos), y se diferencian por su interface de red o puertos.

Los dispositivos locales están equipados con puertos que permiten la conexión al medio de transmisión local, usualmente la columna vertebral de la red. Un atributo importante de los dispositivos locales es su capacidad de conectar redes que utilizan diferentes medios de transmisión, como por ejemplo: redes de cable coaxial con redes de fibra óptica o par torcido.

Los dispositivos de área amplia, son aquellos con interfaces de comunicaciones compatibles con medios de transmisión de larga distancia (**long-haul**), éstos cuentan con uno o varios puertos de comunicaciones de larga distancia y un puerto local, pueden conectar redes situadas en una ciudad o a través del mundo.

Existen dos tipos básicos de tecnología long-haul: enlaces punto a punto y transparentes (**point-to-point, cloud**). Los enlaces punto a punto son típicamente líneas conectadas a la compañía telefónica, estas líneas varían de baja a alta velocidad, 19.2 Kbps, 56Kbps, T1 y E1 (1.544 Mbps y 2.048 Mbps respectivamente).

Las tecnologías transparentes, son sistemas de conmutación que distribuyen información a través de redes en una forma que es totalmente transparente para los usuarios de las redes conectadas, para los usuarios el enlace lo ven como si fuera punto a punto sin imaginarse que la información viaja por diferentes líneas de comunicación. La principal ventaja del servicio transparente es que permite múltiples conexiones de estaciones remotas por un solo puerto de un dispositivo de interconexión en el sitio local. Las interfaces más comunes de servicios transparentes son X.25, Frame Relay, SMDS y la Red Digital de Servicios Integrados (RDSI). La figura 2.a y 2.b ilustran dos esquemas de conexión entre redes utilizando bridges y routers.

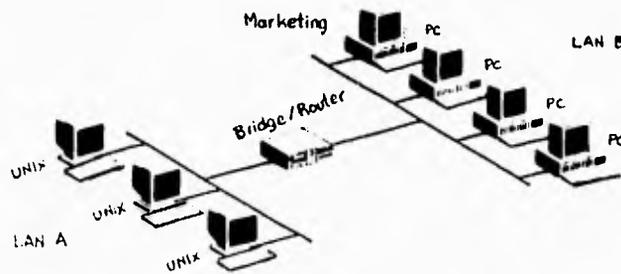


FIGURA 2.a Esquema de conexión de puentes (bridges).

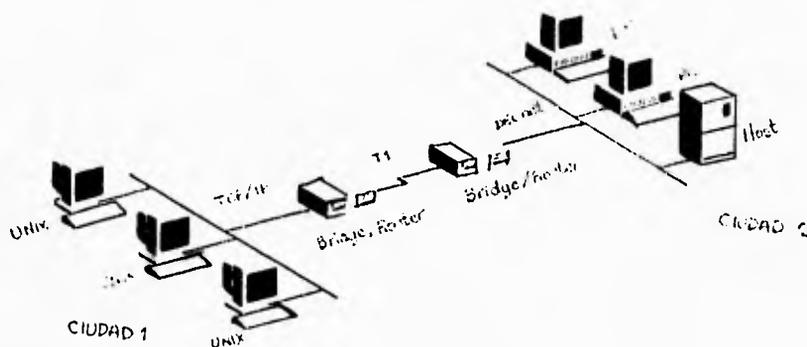


FIGURA 2. b Esquema de conexión de ruteadores (routers).

Multicanalización.

En la multicanalización, los canales de transmisión se dividen en subcanales fijos para diferentes usuarios (figura 3a). Existen varias formas en las cuales se pueden mantener separados los subcanales. En el método de división de espacio, las señales son propagadas por antenas de transmisión y recepción separadas, o bien se separan colocándolas en cables diferentes de un haz. En el método de división de frecuencia, los subcanales emplean partes distintas de las frecuencias de los canales. En el método de multicanalización por división de tiempo, el uso del canal se asigna a subcanales distintos en momentos diferentes. Dos métodos menos comunes son la polarización y la división de código.

Concentración.

En la multicanalización, un canal se divide en subcanales fijos. Por tanto, la suma de las capacidades de los subcanales no puede exceder la capacidad del canal portador. Solamente en algunos casos los subcanales se utilizan a toda su capacidad. En estos casos se emplea la concentración para asignar una forma dinámica el acceso al canal portador. Con la concentración, la suma de las velocidades de transferencia de datos pico de los usuarios puede exceder la capacidad del canal portador (figura 3.b). Está claro que si todos los canales transportados están activos a sus velocidades de transferencia de datos picos al mismo tiempo, los datos se superponen. Si la suma de las velocidades de transferencia de datos sólo es temporalmente mayor que la capacidad de la línea del portador, el desbordamiento puede almacenarse en forma temporal en acumuladores intermedios del dispositivo de concentración. Desde luego, si la suma de velocidades de transferencia de datos promedio de los subcanales transportados es mayor que la capacidad de la línea portadora por períodos prolongados, llegará a perderse información. Por tanto, puede producirse un cuello de botella en el canal que sirve al concentrador, y los datos que están en los canales transportados pueden "bloquearse" por el congestionamiento en el canal portador.

Conmutación.

Un conmutador hace posible que los datos que entran en un canal salgan a uno cualquiera de otros canales varios dependiendo del estado del conmutador. En general, para que una red con n nodos tenga la capacidad de comunicarse entre cada par de nodos en ausencia de conmutación, se necesitaría un canal entre cada uno de los $n(n-1)/2$ pares de nodos. La conmutación puede reducir el número de líneas de comunicación que se necesitan en la red a apenas $n-1$. A menudo los conmutadores pueden aceptar trayectorias entre cada puerto de entrada y cada puerto de salida en

forma individual. Por tanto puede producirse un congestionamiento en el conmutador, y una trayectoria deseada puede "bloquearse" en el mismo (figura 3.c).

Interrogación.

La interrogación es otra forma de compartir un canal entre usuarios. En este caso un dispositivo de control, como por ejemplo, un controlador de terminal, un procesador de comunicaciones o una computadora, interroga a cada usuario del canal en secuencia, si tiene algo que transmitir. Por tanto, si el usuario no necesita el canal, no lo utiliza más que lo necesario para el proceso de interrogación mismo.

Vinculación.

Entre las funciones de las interfaces se cuentan la conversión del código y la velocidad, la conversión de señales analógicas a digitales (A/D), la conversión entre comunicación síncrona y asíncrona, la conversión entre serie y paralelo, y el cambio de formato de datos.

Canales de transmisión.

Las categorías de canales subyacentes que se pueden utilizar para la transmisión se presentan en la figura 4.

El primer elemento de la descripción del canal son las frecuencias que se utilizan en la transmisión. Estas pueden variar desde frecuencias de audio, pasando por frecuencias altas, muy altas, ultra-altas y de microondas, hasta las ondas milimétricas y sistemas ópticos y fibrópticos. La transmisión puede ser analógica o digital. La propagación puede hacerse en el espacio libre, sobre una base de punto a punto, como en el sistema de microondas que se utiliza en las líneas telefónicas, o bien en un modo de

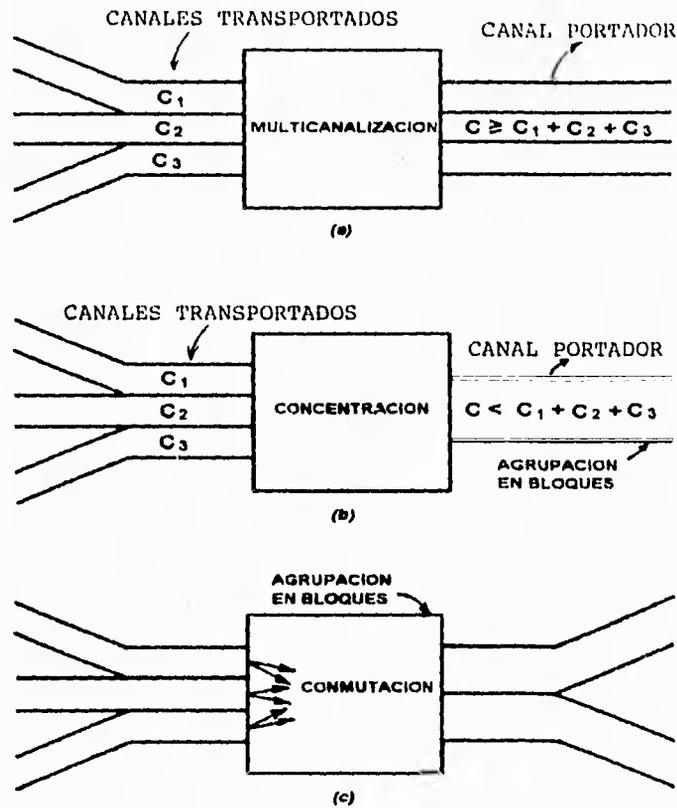


FIGURA 3. Ejemplos de utilizar los recursos de transmisión en forma eficiente:
 a) Multicanalización, b) Concentración, c) Conmutación.

radiodifusión, como se utiliza en la comunicación por satélite. La señal también puede ser restringida o guiada por fronteras físicas. Entre los canales guiados se encuentran los de guías de onda, los canales de fibras ópticas, el cable coaxial y el cable de par torcido. La figura 5 ilustra algunos de los medios de transmisión de canales guiados.

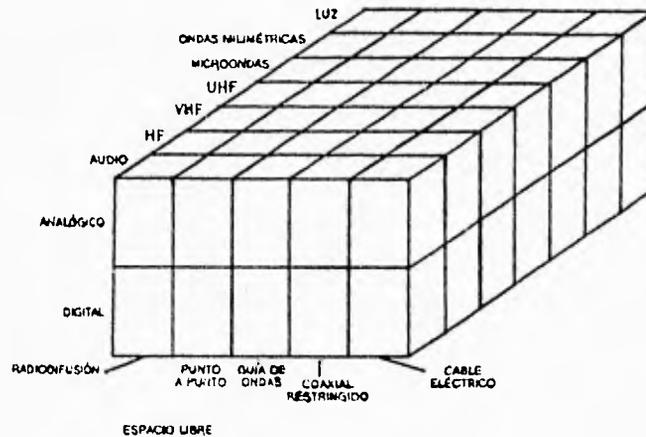


FIGURA 4. Tipos de canales.

Líneas de alambre desnudo (OPEN-WIRE)

Las líneas de alambre desnudo consisten de pares de alambre sin aislamiento soportados en postes espaciados 40 metros aproximadamente; originalmente este medio de transmisión se utilizó en el servicio local telefónico y telegráfico, así como también en larga distancia debido a su baja atenuación en frecuencias de voz, sin embargo, es muy sensible a interferencias externas como tormentas y líneas de alta tensión.

El rango en diámetro de los alambres es desde 0.08 pulgadas a 0.165 pulgadas y son fabricados de cobre, cobre revestido de acero, bronce o aleaciones de aluminio.

Cable par torcido (TWISTED-PAIR)

Un par de alambres aislados es torcido en una espiral continua, la razón de la torcedura es minimizar la interferencia externa al cable y el **crosstalk**. Un cable multipar consiste de alambres aislados individualmente con una cubierta común, que puede contener desde 6 hasta 300 pares, la torcedura o trenzado de los pares se da a diferentes longitudes para cada par con la finalidad de limitar la interferencia electromagnética entre ellos.

En la mayoría de aplicaciones, el rango en diámetro va desde 0.16 pulgadas (calibre 26) a 0.036 pulgadas (calibre 19).

El cable de par torcido puede encontrarse con blindaje o sin blindaje; el cable blindado presenta una mayor protección al ruido externo y crosstalk y algunas veces es llamado cable para datos.

Cable coaxial.

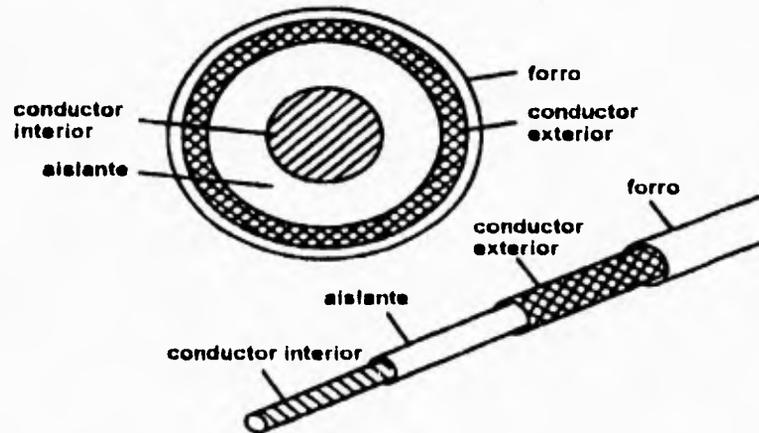
El cable coaxial consiste de dos conductores concéntricos separados por un material dieléctrico, el interior, generalmente de cobre macizo o trenzado es utilizado como portador de señal, y el exterior formado como malla metálica es utilizado como vía de retorno para la señal, adicionalmente los dos conductores se encuentran cubiertos por una funda protectora.



(a) alambre desnudo



(b) cable par torcido



(c) cable coaxial

FIGURA 5. Medios de transmisión guiados.

El cable coaxial puede operar a muy altas frecuencias, lo cual le permite transportar un gran número de canales de voz, datos a alta velocidad y canales de televisión. El cable

coaxial ha sido utilizado en redes telefónicas y en la industria de televisión por cable, una de sus aplicaciones importantes es en las redes de área local (LAN - **Local Area Network**).

Guías de onda.

Una guía de onda consiste de un tubo metálico hueco, de sección rectangular, elíptica o circular, su principal ventaja es su muy baja atenuación en frecuencias de microondas. Son utilizadas para conectar los transmisores a las antenas de microondas.

Fibras ópticas.

Las fibras ópticas tienen una característica que las hace únicas de los otros medios de transmisión: su baja pérdida de transmisión y gran ancho de banda, son inmunes a la interferencia electromagnética y tienen bajo peso y tamaño.

Los sistemas de comunicación ópticos son digitales por naturaleza, la información es codificada en formato binario de unos y ceros para la transmisión, donde un uno es representado por la transmisión de un pulso de fotones de luz y un cero es representado por la ausencia de tal pulso.

Las fibras ópticas pueden clasificarse en tres categorías:

- 1.- Haces de fibras.
- 2.- Fibras multimodales (de índice escalonado o índice graduado).
- 3.- Fibras monomodales.

El haz de fibras, como su nombre implica, es un atado de fibras individuales ligeramente adheridas entre sí, cada fibra que lo constituye representa un núcleo con

Índice de refracción (n_1) relativamente alto rodeado de un revestimiento de menor índice de refracción (n_2), cuando aparecieron mejores componentes optoelectrónicos y dispositivos de acoplamiento, se volvió preferible una sola fibra para las telecomunicaciones, debido a que con ella se eliminaba la atenuación intersticial y los problemas de atenuación relativa. Actualmente estas fibras simples se denominan también fibras multimodales, ya que en todas ellas son posibles una multitud de modos ópticos de propagación. Como se muestra en la figura 6, una fibra multimodal puede ser de índice escalonado o de índice graduado.

La fibra de índice escalonado tiene un núcleo con índice de refracción constante, por otra parte, el núcleo de una fibra con índice graduado varía de manera aproximadamente parabólica a través de su diámetro.

Según la ley de Snell, los rayos de luz que inciden en la frontera entre el núcleo y el revestimiento en un ángulo menor que el ángulo crítico θ se reflejan internamente por completo, como se muestra en la figura 6. Por tanto, existe un ángulo cónico de aceptación de 2θ para cualquier fibra dada. Este ángulo cónico también está relacionado con la abertura numérica. Como se muestra en la figura 6, en las condiciones más perfectas, en la fibra con índice graduado los rayos de luz aceptados se vuelven a enfocar de manera periódica a fin de preservar la relación de fase relativa entre los rayos, mientras que en la fibra con índice escalonado los rayos tienden a defasarse al cabo de una distancia. Por consiguiente, la fibra con índice graduado presenta menor dispersión modal y es preferida para las telecomunicaciones. La dispersión modal suele especificarse en productos de ancho de banda por distancia (MHz-km) o de tiempo por distancia unitaria (ns/km).

Una fibra que actualmente ha adquirido importancia es la monomodal (figura 6.c), en la que el núcleo está tan restringido (de 3 a 5 μm de diámetro) que esencialmente sólo los rayos axiales pueden propagarse.

Esta fibra que presenta la menor dispersión modal, es la preferida para las comunicaciones a larga distancia. Desafortunadamente, debido a su pequeño diámetro, el alineamiento de las fibras monomodales es difícil, de forma que los conectores desmontables de baja atenuación y los empalmes de fibra no son tan fáciles de obtener como los correspondientes a las fibras multimodales.

Abertura numérica (NA)

Un parámetro importante para la caracterización de las fibras es la apertura numérica, (NA - **Numerical Aberture**), que es una medida de la aceptación de luz en la fibra. Para las fibras de índice escalonado y monomodales, la NA se define como:

$$\text{NA (índice escalonado)} = n_1 \text{ sen } \theta = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

donde:

- θ = ángulo semicónico interno de aceptación
- n_1 = índice del núcleo
- n_2 = índice del revestimiento

Para una fibra de índice graduado, la NA está en función del radio r al cual se inyecta la luz dentro de la fibra.

$$\text{NA}(r) = n(r) \text{ sen } \theta = [n^2(r) - n_0^2]^{1/2} = \{2n_1^2 [1 - (r/a)^2] \Delta\}^{1/2}$$

donde:

$n(r)$ es el perfil del índice de refracción como función de r , dado por $n_1[1 - \Delta(r/a)^\alpha]$, y

a es el radio del núcleo de índice graduado.

Para la inyección axial, es decir, para $r=0$, la $NA(0)$ de una fibra de índice graduado se reduce a NA (índice escalonado).

Componentes y sistemas de transmisión por fibras ópticas.

Debido a sus propiedades de baja atenuación, baja dispersión y baja detección, las fibras ópticas son ideales para transmisiones a larga distancia por banda amplia. Además, debido a la propagación con baja atenuación y dispersión es posible un amplio intervalo de longitud de onda y a que los espectros de emisión de las fuentes luminosas pueden hacerse muy estrechos (diodos láser con ancho de línea del orden de los 2 nm), es posible multicanalizar varias longitudes de onda en una sola fibra, de modo que cada longitud de onda puede utilizar toda su propia capacidad de canal de comunicación.

Diversas técnicas de multicanalización por división de longitud de onda **WDM** (**Wavelength Division Multiplexing**) están recibiendo cada vez mayor atención en el laboratorio. Por lo tanto, el sistema de fibras ópticas más general es como el que se muestra en la figura 7, en el que se han multicanalizado electrónicamente, de manera conjunta, varias señales de ancho de banda reducido (por ejemplo: canales de televisión o enlaces de datos de video) a fin de formar un canal de comunicación óptico con un sólo constituyente, de los cuales algunos se multicanalizan ópticamente a su vez para formar el canal óptico final de varias longitudes de onda, que se transmite por una sólo fibra. En el extremo receptor ocurre lo contrario y, por último, se

recupera cada señal de ancho de banda reducido. Estas señales individuales pueden ser analógicas o digitales, y sus anchos de banda pueden variar de unos cuantos Kiloherztz a decenas de Megahertz.

Con base en la figura 7, es evidente que para el diseño de un sistema de transmisión por fibras ópticas eficiente primero es necesario agrupar de manera racional las señales individuales a fin de minimizar los problemas de multicanalización electrónica.

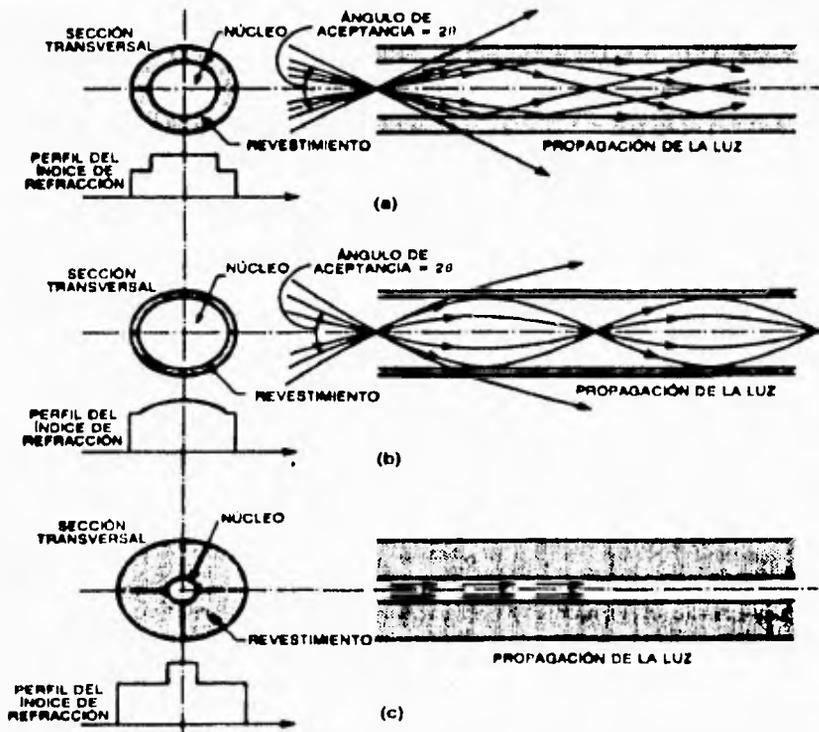


FIGURA 6. Fibras ópticas de uso común: a) Índice escalonado, b) Índice graduado, c) Monomodal

A continuación la señal electrónica compleja así obtenida , se utiliza para modular la fuente luminosa en el transmisor.

Multicanalizadores y demulticanalizadores de longitud de onda.

Los multicanalizadores de longitud de onda son por lo general de dos tipos: rejillas de difracción y filtros dieléctricos. En las publicaciones especializadas se ha informado sobre varios multicanalizadores de rejillas de difracción, en ellos suele utilizarse una combinación de lente-rejilla, como se ilustra en la figura 8a. Los haces de luz de las fibras de entrada (λ_1 , λ_2 , y λ_3) son colimados por las lentes sobre la rejilla de difracción soldada, y difractados por ésta conforme a sus longitudes de onda. Se vuelven a enfocar en la fibra de salida como la salida multicanalizada.

En la práctica suele utilizarse una lente de varilla GRIN (**Graded Refractive Index** - Índice de Refracción Graduado), debido a la ventaja de sus caras planas de entrada y salida, orientación coaxial de las fibras, fácil compensación de la abertura numérica, aberración mínima, facilidad para el montaje. En la figura 8b, se puede observar una configuración reciente en la que se utiliza una combinación lente de varilla GRIN/rejilla de difracción. La atenuación por inserción típica es de 2.5 dB aproximadamente, y el aislamiento entre canales separados de 20 nm entre sí es de unos 24 dB.

También se ha investigado ampliamente el empleo de filtros dieléctricos de interferencia de capas múltiples como canalizadores y demulticanalizadores.

Dado que los filtros dieléctricos suelen presentar una elevada sensibilidad a la polarización, por lo general se utilizan en configuraciones de incidencia casi normal junto con varillas GRIN, como se muestra en la figura 9. Aunque la opinión generalizada ha sido que los dispositivos de interferencia proporcionan baja

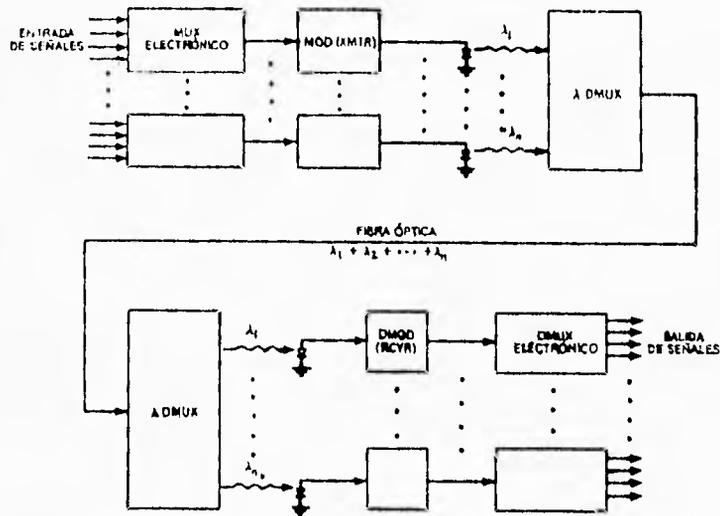


FIGURA 7. Configuración general de un sistema de comunicaciones. MUX = multicanalizador; MOD(XMTR) = Transmisor-modulador electrónico; λ MUX = multicanalizadores de longitud de onda; λ DEMUX = demulticanalizadores de longitud de onda; DMOD(RCVR) = receptor-demodulador electrónico; DMUX = demulticanalizador.

transmisión y aislamiento deficiente, un dispositivo bien diseñado, tal como el que se muestra en la figura 9.a , presenta una atenuación por inserción media alrededor de 2 dB y aislamiento entre canales (separados 20 nm entre sí) de 34 dB aproximadamente.

Acopladores de fibras ópticas: direccionales, en T y en estrella.

En un sistema con terminales múltiples se requieren varios acopladores ópticos. los más elementales son los siguientes:

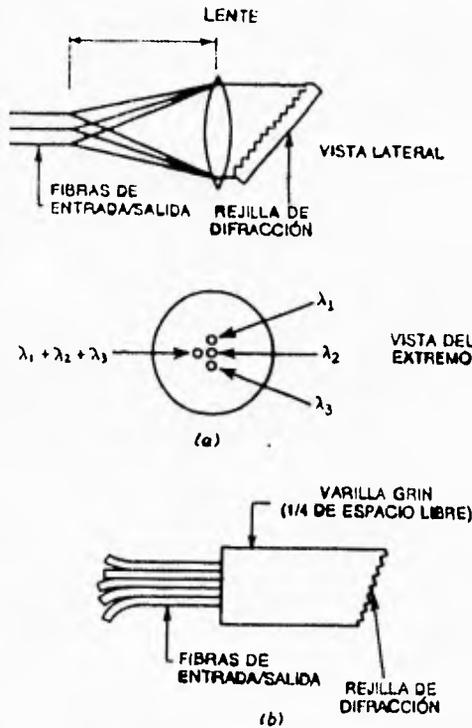


FIGURA 8. Multicanalizador de longitud de onda en el que se utiliza una rejilla de difracción como elemento sensible a la longitud de onda.

a) Principio de funcionamiento, b) Reducción reciente en la práctica.

1.- Acopladores direccionales.- Un acoplador direccional es un dispositivo de tres puertas, que se ilustra esquemáticamente en la figura 10 a. Idealmente, la potencia de la puerta A se dirige sólo a la puerta B, y existe un aislamiento infinito entre A y B. Por lo tanto, tal acoplador se utiliza en un sistema half duplex. En la práctica, una construcción lograda es como la que se muestra en la figura 10 b: dos

fibras idénticas se retuercen juntas, se calientan y se estiran a fin de obtener un "ahusamiento bicónico".

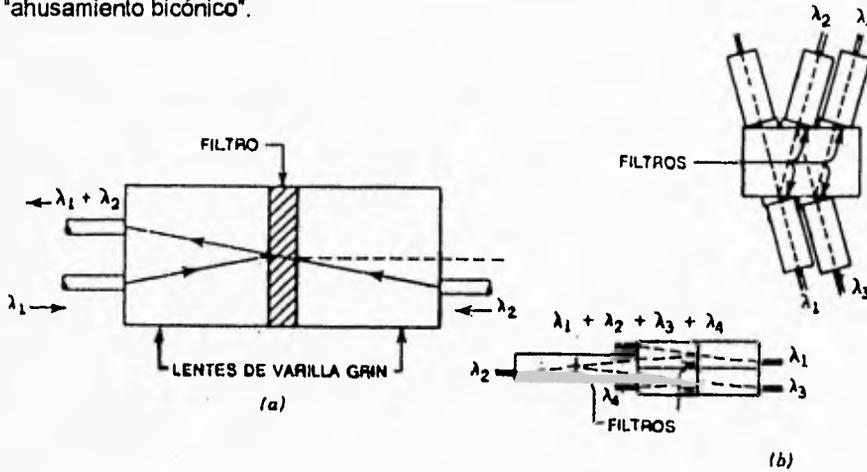
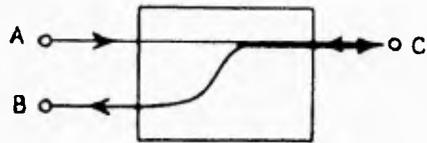


FIGURA 9. Multicanalizador de longitud de onda en el que se utiliza un filtro de interferencia dieléctrica de capas múltiples como elemento sensible a la longitud de onda. a) De una sola capa. b) Configuración en cascada.

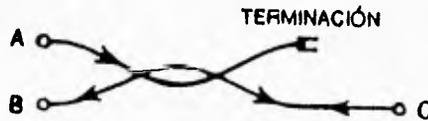
Los dispositivos comerciales fabricados así presentan un aislamiento entre A y B mayor de 50 dB y una atenuación por inserción entre todas las puertas de 4 dB aproximadamente.

2.- Acopladores en T.- El acoplador en T (también denominado de bifurcación) es asimismo un dispositivo de tres puertas, y se muestra en la figura 11. El principal flujo de potencia es de A a C, con una parte preescrita (la razón) de bifurcación proveniente de la puerta . Aunque es posible obtener una construcción sencilla empleando una combinación de fibra-filtro bastante semejante a la del

multicanalizador, en dispositivos comerciales recientes vuelve a utilizarse la construcción ahusada bicónica.



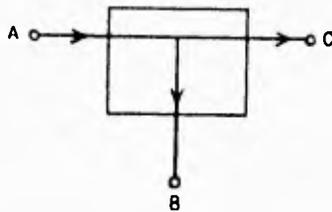
(a)



(b)

FIGURA 10. Acoplador direccional: a) Principio de funcionamiento.

b) Reducción en la práctica.



(a)



(b)

FIGURA 11. Acoplador en T: a) Principio de funcionamiento.

b) Reducción en la práctica.

3.- Acopladores en estrella - Un acoplador en estrella es un dispositivo de n puertos en el que una señal de una fibra se distribuye uniformemente entre las demás fibras, como se muestra en la figura 12. Es decir, se permite que la potencia de entrada P_{ent} de cualquier fibra llene toda la varilla emisora, que por lo general es una fibra de índice escalonado, y después se refleja de regreso para iluminar de manera uniforme las fibras. Por tanto, idealmente cada fibra recibe P_{ent} / n de la señal.

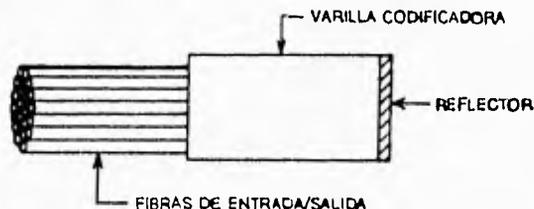


FIGURA 12. Acoplador en estrella.

Conectores y empalmes.

Cuando dos fibras ópticas se conectan entre sí, pueden unirse en forma desmontable mediante el empleo de conectores o bien permanentemente en un empalme. Ya que las fibras suelen tener diámetros muy pequeños (angular y lineal), una consideración de importancia es el alineamiento. En la figura 13 se muestran las atenuaciones calculadas para fibras de índice escalonado con respecto a varias condiciones de desalineamiento y separación en los extremos, y se muestra que es posible obtener atenuaciones substanciales si no se tiene cuidado al hacer las conexiones.

Los fabricantes actuales utilizan dos métodos básicos en sus diseños.

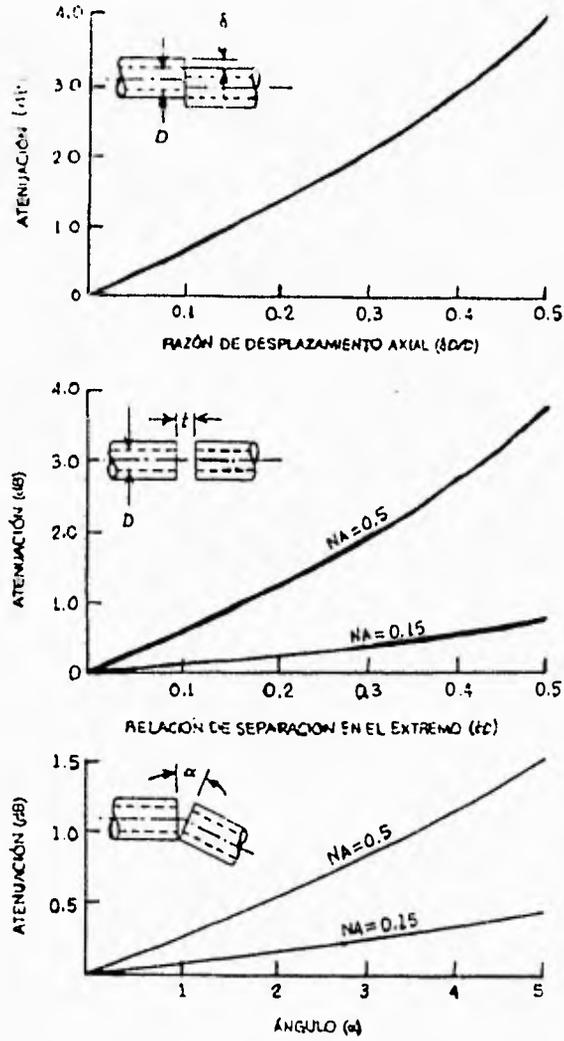


FIGURA 13. Atenuaciones (pérdidas) calculadas en un empalme de fibra multimodal de índice escalonado, debido a desalineamiento axial, separación entre los extremos y desnivel angular.

- 1.- El empleo de dispositivos mecánicos (ranuras, casquillos de alineamiento, cojinetes de piedra dura - rubí por ejemplo -, etc.) a fin de alinear el diámetro de las fibras.

- 2.- El empleo de elementos ópticos (lentes, varillas Selfoc, lentes virtuales, etc.) a fin de obtener mayor diámetro en el haz de salida colimado, para ser recibido por el sistema óptico de acoplamiento de entrada.

En el primer método los factores de pérdidas dominantes son el desplazamiento y la separación axiales, mientras que en el segundo básicamente se cambia el problema de desplazamiento axial por desalineamiento angular.

Ya que el desalineamiento angular puede obtenerse con mayor facilidad si es posible mantener una rigidez mecánica en una gran distancia, y ya que un haz con gran diámetro es menos sensible a inclusión de polvo, rayaduras, etc., el método óptico suele proporcionar resultados superiores, especialmente después de varios acoplamientos y desacoplamientos.

En la figura 14 se muestran los principios de dos diseños de uso actual. La figura 14a corresponde a un método de ranuras múltiples utilizado por Bell Telephone Laboratories. En la figura 14.b se muestra el principio de un conector desmontable de tipo lente.

Al diseñar un sistema de fibras ópticas, la primera consideración es el ancho de banda del sistema, debido a que determina la elección básica de la fuente óptica (LED frente a láser). La siguiente consideración es la longitud del enlace, ya que determina el tipo de fibra que debe utilizarse y que atenuación global de la misma debe esperarse.

La atenuación global, junto con las causadas por acoplamiento, conexión, empalme y bifurcación, determinan si se debe utilizar un diodo láser sin tomar en cuenta el ancho de banda, el tipo de detectores ópticos, y si son necesarios repetidores.

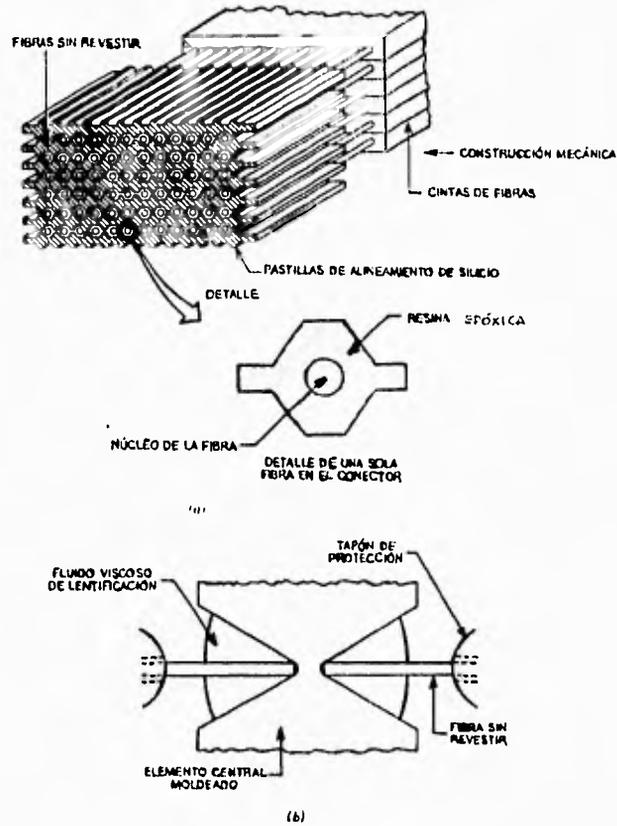


FIGURA 14. Dos tipos de conectores de fibra óptica: a) Bloque de ranuras. b) Conector de una sola fibra.

Enlace punto a punto, a larga distancia, con gran ancho de banda.

En un enlace analógico de 200 MHz y 3.2 km, cuya fuente se encuentra en el punto A, y con un sumidero conmutable en B o en C, como se ilustra en la figura 15, el ancho de banda del sistema requiere el empleo de un buen diodo láser; la longitud y el ancho de banda necesitan de una buena fibra con índice graduado, cuyo producto de ancho de banda por longitud sea mayor de 600 MHz-km. Dado que las longitudes de las fibras comerciales suelen ser de 1 km, se indican tres empalmes. Para un buen diodo láser con cable flexible para conexión, podría esperarse una salida lineal modulada de 1mW (0 dBm). El diodo también estará polarizado a una salida de CD de 1 mW.

Por lo tanto la atenuación total del enlace que se presupone será:

		Potencia de la fuente: 0 dBm
Atenuaciones del enlace:	[dB]	
3 conectores a 1 dB cada uno	3.0	
3 empalmes a 0.2 dB cada uno	0.6	
3.2 km de fibra, 4 dB/km	12.8	
1 interruptor óptico a 2 dB	2.0	
Atenuación por acoplamiento en el fotodiodo	1.0	
Envejecimiento, desalineamiento	3.0	
Atenuación total del enlace	22.4	∴ Potencia incidente en el fotodiodo es de: -22.4 dB

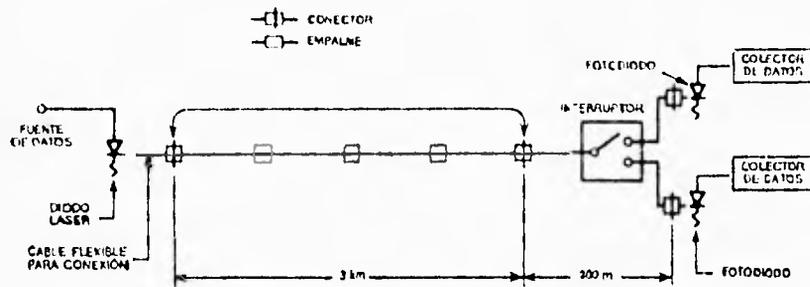


FIGURA 15. Ejemplo de un diseño de un enlace de datos analógico.

Enlace de terminales múltiples con ancho de banda intermedio.

Considérese una situación de un ducto de datos con N terminales, en la cual una estación maestra transmite a las demás (N-1) estaciones esclavas. Por sencillez, se utiliza un acoplador estrella; cada estación es equidistante con respecto a la estrella, como se ilustra en la figura 16. Este ducto de datos transmitirá a unos 10 Mbps, con codificación bifásica, separación de estrella a estación de 100 m o menos, y tendrá aproximadamente 32 terminales en el sistema. Estos parámetros indican que es posible utilizar un LED y una fibra con índice escalonado de gran abertura numérica, para obtener una entrada acoplada hacia el interior de la fibra de $100 \mu\text{W}$ (-10 dBm) en promedio. El valor estimado de la potencia óptica sería:

		Fuente de potencia. - 10 dBm
Atenuaciones del enlace entre la estación maestra y sólo una estación esclava:	[dB]	
4 conectores a 1 db cada uno	4.0	
200 m de fibra, 4 dB/km	0.8	
Atenuación por división = $1/N = 1/32$	15.0	
Exceso de atenuación de la estrella	2.0	
Atenuación por acoplamiento en el fotodiodo	0.5	
Envejecimiento, desalineamiento	3.0	
Atenuación total de estación a estación	25.3	∴ Potencia incidente en el fotodiodo: -35.3 dBm

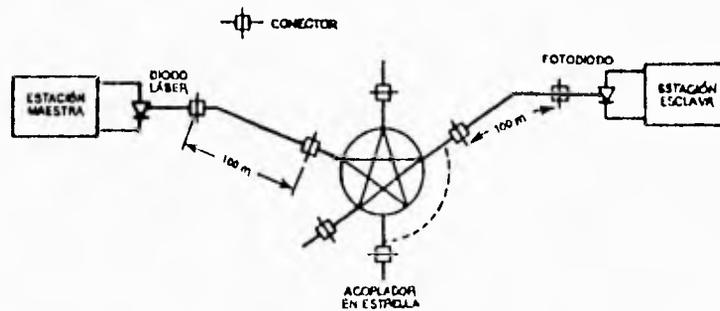


FIGURA 16. Ducto de datos con acoplador en estrella.

		Fuente de potencia. - 10 dBm
Atenuaciones del enlace entre la estación maestra y sólo una estación esclava:	[dB]	
4 conectores a 1 db cada uno	4.0	
200 m de fibra, 4 dB/km	0.8	
Atenuación por división = $1/N = 1/32$	15.0	
Exceso de atenuación de la estrella	2.0	
Atenuación por acoplamiento en el fotodiodo	0.5	
Envejecimiento, desalineamiento	3.0	
Atenuación total de estación a estación	25.3	∴ Potencia incidente en el fotodiodo: -35.3 dBm

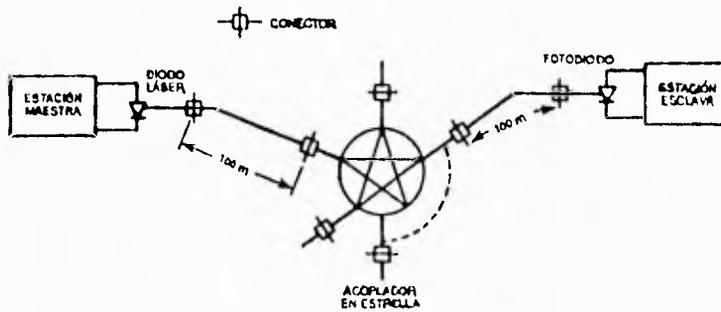


FIGURA 16. Ducto de datos con acoplador en estrella.

Radio Microondas.

La propagación de una señal de radio entre dos puntos terrestres se basa en la interacción de las ondas de radio con la atmósfera de la tierra, la superficie de ésta y cualesquier obstrucción y falta de uniformidad que pudiera presentarse.

Es posible identificar cinco mecanismos principales de propagación, como se ilustra en la figura 17:

1. En línea recta.
2. De ondas terrestres.
3. Ionosférica.
4. Por dispersión troposférica.
5. Por dispersión local.

Cada uno de estos mecanismos crea un canal con sus propias características que varía con la frecuencia, distancia del enlace, hora del día y año, así como con las condiciones solares y atmosféricas. A menudo actúan juntos varios mecanismos, pero por lo general la intensidad de la señal debida a uno de ellos domina a los demás, y es posible modelar el canal como si sólo un mecanismo estuviera en operación. El mecanismo dominante de transmisión puede cambiar de un lugar a otro.

El diseño de un enlace de comunicación depende de muchos factores, algunos bajo el control del diseñador (tales como la relación costo/rendimiento y el método de modulación) y otros fuera de su control. Para el caso de enlaces terrestres no guiados, el factor de diseño no controlado de mayor importancia es la naturaleza del canal por el que debe efectuarse la transmisión.

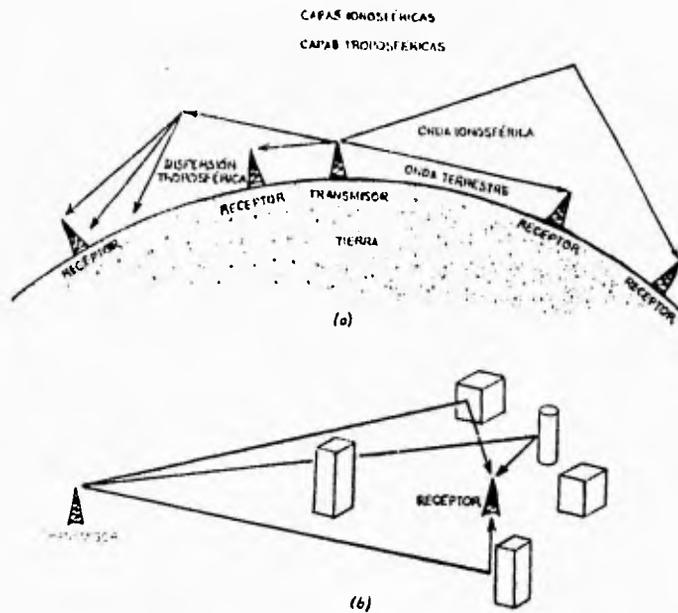


FIGURA 17. Principales mecanismos de propagación:
a) Propagación atmosférica y terrestre.
b) Propagación por dispersión local.

Propagación en línea recta.

Un canal de línea recta o de trayectoria óptica directa (LOS - **Line-Of-Sight**) puede establecerse siempre que una trayectoria en línea recta entre el transmisor y el receptor se encuentre libre de obstrucciones; para ondas de radio esto suele significar que es posible ignorar obstrucciones pequeñas pero visibles, es decir podría existir una trayectoria LOS incluso si un observador colocado en el transmisor no pudiese ver realmente el receptor. Además, la presencia de obstrucciones importantes cerca de la

trayectoria de transmisión puede ocasionar la distorsión de la señal en múltiples trayectorias, por lo que en la mayor parte de los enlaces LOS se emplean patrones estrechos enfocados a evitar problemas de trayectoria múltiple. Esto permite también el uso múltiple de la misma banda de frecuencia en sistemas independientes pero cercanos, a fin de poder emplear antenas de haz estrecho de tamaño físico razonable que requieran pequeñas longitudes de onda. Así, en la mayor parte de los enlaces LOS se utilizan frecuencias de microondas, milimétricas y ópticas, aunque teóricamente tales enlaces pueden establecerse en cualquier frecuencia. Sin embargo, a pesar del diseño y la ubicación cuidadosos del equipo de enlace LOS, la tierra y la atmósfera a menudo propician la recepción de trayectoria múltiple.

En la figura 18 se muestran dos posibilidades. La primera se presenta en condiciones perfectas; una parte del frente de onda transmitido es reflejada por la superficie de la tierra, por otras obstrucciones fijas o por ambas, e incide en la antena del receptor. Dado que las ondas dirigida y reflejada han viajado distancias diferentes, suelen no estar en fase; si son de la misma magnitud, incluso podrían cancelarse entre sí y producir un campo neto recibido igual a cero.

Por consiguiente, existe una altura óptima de antena receptora para cualquier enlace, que corresponde a la primera zona de Fresnel que se abre desde el transmisor, y que depende de la geometría transmisor-tierra-receptor y del defasamiento en la reflexión (es decir, la más alta no necesariamente es la mejor; obsérvese que las antenas de microondas a menudo están montadas en alguna parte intermedia de una torre o de un edificio alto, en vez de estarlo en la parte superior).

El primer mecanismo de trayectorias múltiples es fácil de explicar, ya que es invariante con el tiempo. El segundo es más difícil: debido a que la refracción de parte de la

onda es transmitida en regiones de la atmósfera cuyos índices de refracción son diferentes. Esto ocurre debido a la presencia de capas térmicas y turbulencias, de forma que el fenómeno cambia con la hora del día y con el clima. Las señales recibidas pueden estar en fase o parcial o totalmente canceladas. El marco temporal del fenómeno varía bastante; en los enlaces de microondas, para completar un ciclo se requieren minutos u horas, y el efecto es un "desvanecimiento". En enlaces ópticos esto puede ocurrir muchas veces por segundo, y el resultado se denomina centelleo.

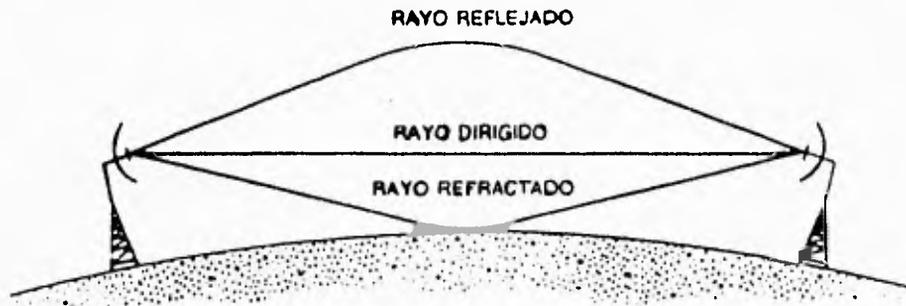


FIGURA 18. Propagación por trayectorias múltiples en enlaces de línea recta (visual).

La forma más común de combatir estos desvanecimientos consiste en proporcionar diversidad de espacio, es decir, múltiples antenas receptoras separadas entre sí algunas longitudes de onda, de forma que los desvanecimientos encontrados por cada una tiendan a no correlacionarse estadísticamente. En el caso de las microondas esto significa dos antenas montadas a diferentes alturas de la torre.

Un segundo problema fundamental para el diseño de enlace LOS es la presencia de precipitación en la trayectoria de propagación. Lluvia, nieve y niebla producen atenuación de las ondas de radio. El efecto es mayor para la precipitación más densa, partículas más grandes de precipitación y las frecuencias superiores.

Propagación de ondas terrestres.

Debido a que la tierra es un conductor imperfecto, las ondas de radio penetran algo en su superficie; su intensidad de campo disminuye rápidamente con la profundidad, y se propagan más lentamente que en el aire. Esto origina un "arrastré" o efecto de onda superficial, que provoca que, justo por encima de la superficie, la onda siga la curvatura de la tierra. Este proceso es inherentemente disipativo, y es de utilidad sólo para frecuencias relativamente bajas y para comunicación transhorizonte en distancias consideradas cortas, del orden de 200 kilómetros para frecuencias medias (MF - **Medium Frequency**) y de 2000 kilómetros tanto para frecuencias bajas (LF - **Low Frequency**) como para muy bajas frecuencias (VLF - **Very Low Frequency**).

La propagación de ondas terrestres suele presentarse con otras formas de propagación y provoca patrones de interferencia que motivan fenómenos de desvanecimiento. Es útil durante el día, cuando la capa D fuertemente absorbente de la ionósfera hace muy débil la reflexión en las capas superiores de las frecuencias bajas y medianas.

Propagación ionosférica.

La ionósfera es una región de la atmósfera superior que contiene capas de gases atmosféricos cargados eléctricamente. La ionización de los gases se debe a la acción de la radiación solar (tanto la radiación electromagnética como el denominado viento solar). De este modo la composición de la ionósfera depende en gran medida de la

actividad solar, particularmente de las manchas solares y de la hora del día, de la estación del año y de la latitud geográfica.

En la figura 19 se muestra la variación diurna en la ubicación de las principales capas de la ionósfera. Durante el día hay cuatro capas diferentes: D, E, F₁ y F₂. Durante la noche desaparece la capa D y se presenta la capa F. Se reduce la densidad de la capa E, lo cual permite mayor penetración en la capa F. Además de las capas más predecibles, pequeñas capas parecidas a nubes de densidad iónica incrementada vagan alrededor de la capa E, permitiendo una breve comunicación mejorada, por lo general en la banda superior HF.

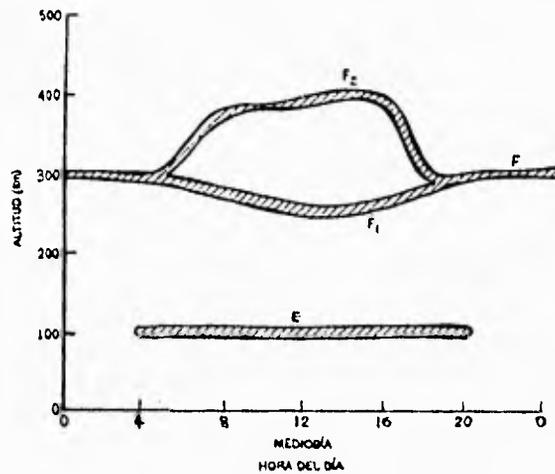


FIGURA 19. Variaciones diurnas en las capas ionosféricas.

Dispersión troposférica.

La región de la atmósfera donde vive el ser humano se denomina troposfera. Se caracteriza por una temperatura que generalmente disminuye con la altitud, y por

capas alternadas de flujo de aire turbulento y laminar a temperaturas significativamente diferentes.

Los índices de refracción de estas capas son tan diferentes que se experimenta algo de dispersión de regreso a la tierra en las bandas de muy alta frecuencia (VHF - **Very High Frequency**) y ultra-alta frecuencia (UHF - **Ultrahigh Frequency**), hasta las frecuencias en las que la absorción de gases y vapor atmosférico comienzan a provocar una seria atenuación. Este fenómeno conocido como dispersión troposférica o tropodispersión, tiene un intervalo utilizable de alrededor de 30 Mhz a 10 Ghz, y casualmente comienza donde termina la propagación ionosférica.

Comparada con la propagación ionosférica, la tropodispersión es mucho menos propensa a cambios en las condiciones solares o estacionales, aunque varía muy notablemente con la ubicación geográfica, y es de mayor utilidad en las zonas templadas que en los trópicos.

Propagación por dispersión local.

Este mecanismo de propagación no pertenece al grupo de los canales "clásicos" ya descritos, por lo que no se mencionan en la mayor parte de los manuales de este tipo. Hasta hace muy poco sus características no se habían investigado por completo, aunque su existencia es tan antigua como la radiocomunicación. Está tipificada por el canal de radioenlaces móviles urbanos, pero otros ejemplos, tales como el canal acústico submarino, tienen propiedades muy similares.

Cuando la trayectoria de enlace es relativamente corta, no es necesario basarse en efectos atmosféricos de gran altitud o en la propagación de ondas terrestres, incluso aunque no exista trayectoria en línea recta entre el transmisor y el receptor. Cuando el

receptor se encuentra rodeado de obstrucciones, (edificios, postes para el cableado eléctrico, árboles, colinas), éstas son las que proporcionan una multitud de trayectorias para la señal de radio.

La señal recibida de este canal llega desde muchas direcciones y por varios mecanismos. En el caso de grandes obstrucciones (en comparación con la longitud de onda), las ondas pueden reflejarse, difractarse o ambas cosas. En el caso de pequeñas obstrucciones ocurrirá dispersión, y cada partícula actuará como un débil radiador omnidireccional. Afortunadamente, por lo general no es necesario considerar los mecanismos específicos que actúan en un canal particular de este tipo. El efecto neto es como si la antena receptora estuviese rodeada de un gran número de dispersores colocados aleatoriamente, actuando cada uno de ellos como una fuente de la misma señal pero con fase, retardo y amplitud aleatorios.

Microondas.

La radio de microondas es uno de los medios de transmisión predominante hoy en día. La atmósfera terrestre es un camino efectivo de transmisión de ondas electromagnéticas y es utilizada como medio de transmisión por los sistemas de radio microondas terrenos. En la tabla 2 del Apéndice C se muestra el espectro de frecuencia electromagnético.

Un sistema de microondas consiste de un transmisor, la línea de vista para la trayectoria de propagación a través de la atmósfera terrestre y una antena receptora. Los repetidores ubicados entre puntos extremos, reciben la señal, la amplifican y la envían al siguiente repetidor. La distancia entre estaciones repetidoras, que varía de 1.5 a 150 km, depende de la frecuencia utilizada, el terreno, la tecnología utilizada y la potencia del transmisor.

Enlaces LOS de microondas.

A frecuencias de microondas (>1 Ghz), las ondas de radio comienzan a presentar algo más de la propiedades de radiación óptica que a radiofrecuencias inferiores. Por lo tanto, el término "en línea recta" se asocia más a menudo con estas frecuencias que con cualesquiera otras. Los enlaces LOS de microondas requieren que ni la tierra ni cualquier obstáculo significativo obstruyan la trayectoria entre el transmisor y el receptor, pero sería inadecuado suponer que todo lo que se requiere es el establecimiento de una trayectoria en línea recta entre ellos.

Como ya se mencionó en el Apéndice C, debido a la refracción atmosférica, es necesario considerar un valor diferente del verdadero del radio terrestre. Sin embargo, en varias condiciones atmosféricas la razón del radio efectivo entre el radio verdadero puede variar de 0.6 a 0.5. Por tanto, a fin de incluir la peor de las condiciones, es necesario incrementar el espacio libre entre la Tierra y el rayo de trayectoria recta más cercano a partir del que se haya obtenido mediante el empleo de un sencillo modelo geométrico.

En la figura 20 se muestra de la forma de un enlace LOS. A fin de determinar si un punto P cerca de la trayectoria del rayo está lo suficientemente separado de éste, se denota como b a la distancia del transmisor a P, como c a la distancia de P al receptor, y como d a la distancia del transmisor al receptor. Entonces el radio r de la primera zona de Fresnel a partir de P, medido en un plano perpendicular al rayo, está dado por:

$$R^2 = \frac{\lambda b c}{d}$$

donde λ es la longitud de onda y todas las mediciones están en las mismas unidades.

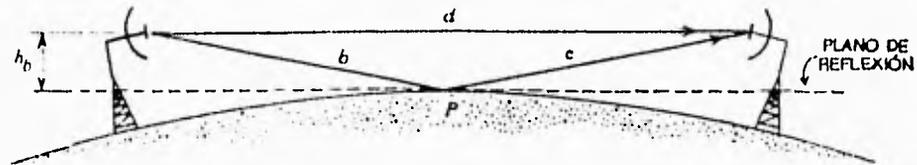


FIGURA 20. Interferencia entre las ondas dirigida y reflejada por la Tierra en un enlace de microondas.

Se considera que una obstrucción tiene suficiente espacio libre con respecto al rayo si se encuentra fuera de la zona Fresnel, medido a partir del paso más próximo del rayo. Los cálculos resultantes pueden utilizarse para determinar la altura requerida de la antena para una distancia dada, o la máxima distancia de enlace entre dos antenas con determinada altura, siempre y cuando sea conocido el perfil del terreno.

En las trayectorias LOS también ocurre el fenómeno de trayectoria múltiple. En los enlaces se emplea tanto la diversidad de frecuencias como la espacial, y algunas veces se combinan, sin embargo, las agencias de reglamentación limitan la disponibilidad de los canales para la diversidad de frecuencias, por lo que es probable que los esquemas de diversidad espacial tiendan a predominar en el futuro.

En la diversidad espacial para combatir el problema se requiere de una separación vertical entre las antenas de aproximadamente:

$$d_s = \frac{\lambda \cdot d}{4h_t}$$

donde h_r es la altura de la antena de transmisión por encima de un plano tangente a la tierra en el punto de reflexión, y las unidades de todas las mediciones son las mismas.

La diversidad temporal no se emplea en los enlaces LOS de microondas, ya que el tiempo de coherencia es del orden de horas en condiciones normales.

Los enlaces LOS de microondas también sufren de atenuación debida a la precipitación y absorción atmosférica por moléculas de agua y oxígeno. En el primer caso se tiene un pico justamente después de los 2 Ghz, y en la debida al oxígeno, a los 60 Ghz, por lo que estas frecuencias suelen evitarse en el diseño de enlace. En la figura 21 Se presentan curvas de atenuación por precipitación en función de la frecuencia, con la densidad de precipitación como parámetro.

Estos enlaces tienen el mayor ancho de banda de coherencia de todos (del orden de 10 a 100 MHz), con la excepción de los enlaces ópticos, lo que permite la transmisión a velocidades de hasta 300 Mbps.

Satélites.

Las frecuencias utilizadas por los satélites de comunicaciones se encuentran localizadas en las bandas de super alta frecuencia (SHF - **Super High Frequency**) y extremadamente alta frecuencia (EHF - **Extremely High Frequency**), las cuales se dividen en las sub-bandas indicadas en la tabla 1. La comunicación mediante satélite tiene algunas propiedades que la hacen atractiva en algunas aplicaciones. Este tipo de comunicación puede imaginarse como si un enorme repetidor de microondas estuviese localizado en el cielo. Está constituido por uno o más dispositivos receptor-transmisor, cada uno de los cuales escucha una parte del espectro, amplificando la

señal de entrada y, después, la retransmite a otra frecuencia, para evitar los efectos de interferencia con las señales de entrada. El flujo dirigido hacia abajo puede ser muy amplio y cubrir una parte significativa de la Tierra, o bien, puede ser estrecho y cubrir un área de cientos de kilómetros de diámetro.

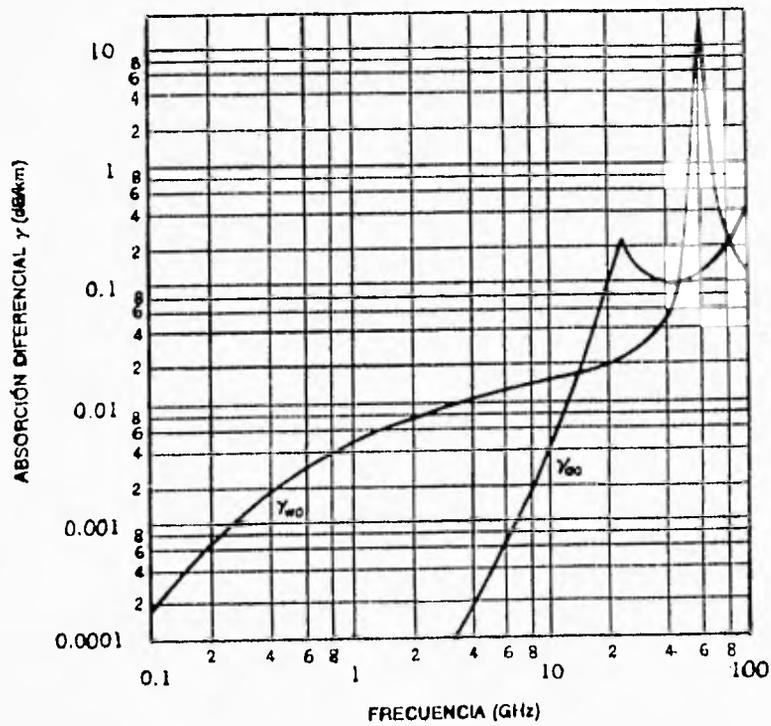


FIGURA 21. Absorción atmosférica en función de la frecuencia.

FRECUENCIA DE BANDA	RANGO (GHz)
L	1 - 2
S	2 - 4
C	4 - 8
X	8 - 12
Ku	12 - 18
K	18 - 27
Ka	27 - 40
Milimétrica	40 - 300

TABLA 1. Espectro de frecuencias satelitales.

Según la ley de Kepler, el período orbital de un satélite varía de acuerdo con el radio de la órbita elevado a la potencia de 3/2. Cerca de la superficie de la tierra el período es aproximadamente de 90 minutos. Los satélites de comunicación ubicados a esta altura no son muy convenientes por que se encuentran a la vista de las estaciones terrestres durante un intervalo de tiempo demasiado corto.

Sin embargo, a una altura aproximada de 36000 Kilómetros por encima del Ecuador, dicho intervalo de tiempo es de 24 horas, por lo cual gira a la misma velocidad con la que lo hace la tierra. Un observador, mirando un satélite en la órbita del círculo ecuatorial, lo vería como un punto fijo en el cielo, aparentemente sin movimiento. Es muy deseable tener estas condiciones en un satélite, porque de otra manera sería necesaria una casa antena orientable para rastrearlo.

Con la tecnología actual, no es deseable tener satélites espaciados una distancia menor de 4°, en un plano ecuatorial de 360°. El haz proveniente de la Tierra, considerando separaciones menores entre satélites, iluminaría no solo al que se desea, sino también a aquellos que lo rodean. Con un espaciamiento de 4° sólo se pueden tener 90 satélites de comunicación geosíncronos, situados en el cielo al mismo

tiempo. Además de estas limitaciones tecnológicas hay una competencia muy fuerte por obtener ranuras orbitales entre cada clase de usuarios.

Con objeto de prevenir un posible caos en el cielo, se han establecido acuerdos internacionales sobre quién puede hacer uso de qué ranuras orbitales y de qué frecuencias. Las bandas de 3.7 a 4.2 GHz y de 5.925 a 6.425 GHz se han designado como frecuencias de telecomunicación vía satélite, para flujos de información provenientes del satélite o hacia el satélite, respectivamente. En la actualidad estas bandas, que en general se les conoce como la banda 4/6 GHz, se encuentran superpobladas porque también se utilizan por los proveedores de servicios por cable para enlaces terrestres de microondas.

Las bandas superiores siguientes, que se encuentran disponibles para las telecomunicaciones son las de 12/14 Ghz, las cuales no se encuentran todavía congestionadas, y a estas frecuencias los satélites pueden llegar a tener un espaciamiento mínimo de 1°, sin embargo, existe otro problema: la lluvia. El agua es un excelente absorbente de estas microondas tan cortas. Afortunadamente, las tormentas más fuertes pueden localizarse con facilidad, por lo que, utilizando varias estaciones terrestres suficientemente separadas, en lugar de una sola puede resolverse el problema.

Las bandas de frecuencia de 20/30 Ghz también se han reservado para el área de telecomunicaciones, pero el costo del equipo necesario para utilizarlas es todavía muy elevado.

Un satélite típico divide su ancho de banda de 500 Mhz en aproximadamente una docena de receptores - transmisores, cada uno con un ancho de banda de 36 MHz.

Cada receptor transmisor puede emplearse para codificar un flujo de información de 50 Mbps, 800 canales de voz digitalizada de 64 Kbps, o bien otras combinaciones diferentes. Además dos receptores-transmisores pueden utilizar señales con diferente polarización de tal manera que emplean la misma banda de frecuencia sin que exista el problema de interferencia.

En la actualidad cada satélite está equipado con múltiples antenas y receptores-transmisores, con lo que cada uno de los haces de información del satélite pueden enfocarse sobre un área geográfica muy pequeña, de tal forma que se puedan hacer varias transmisiones simultáneas de haces hacia el satélite. A estas transmisiones se les llama **traza de ondas dirigidas**, y normalmente tienen una forma elíptica y un tamaño muy pequeño, de sólo unos cuantos cientos de kilómetros de diámetro.

En la figura 22.a) se ilustra un satélite con dos antenas correspondientes a dos áreas separadas geográficamente. En este ejemplo, cada una de las áreas tiene dos estaciones terrestres, las cuales, dentro de sus respectivas áreas, se alternan para realizar transmisiones al satélite. Los números que aparecen en los flujos de información y que están dirigidos del satélite, indican al receptor cual mensaje debe alcanzar. En la medida en que se reciben los mensajes, estos se conmutan a la antena apropiada y se orientan a su respectivo destino. En la figura 22.b) se muestra la retransmisión de los mensajes desde el satélite de la figura 22.a).

Al tener un satélite con varios haces dirigidos se obtiene la ventaja de que un satélite puede hacer el trabajo de muchos.

Los satélites de comunicación tienen varias propiedades que son completamente diferentes de las que presentan los enlaces terrestres punto a punto. Por ejemplo, aún

cuando las señales que van o vienen del satélite viajan a la velocidad de la luz, éstas introducen un retardo sustancial, al recorrer la distancia total como consecuencia del tiempo que tarda la información en ir y venir.

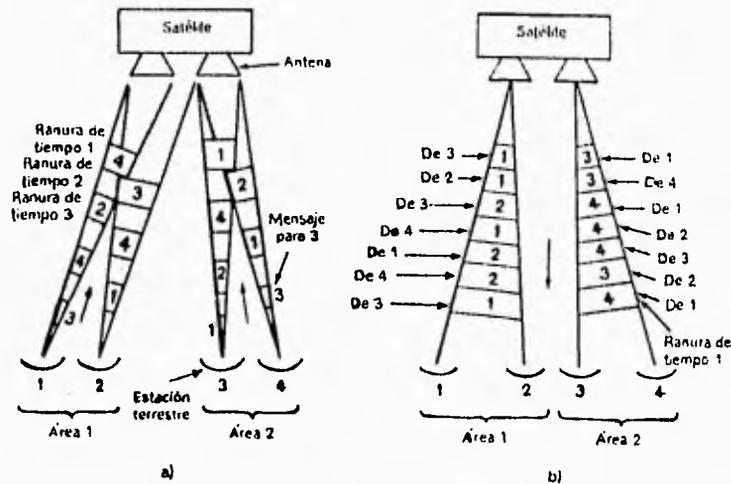


FIGURA 22. Satélite con dos antenas.

Modos de transmisión.

La transmisión de datos puede realizarse en dos formas diferentes: transmisión de datos en serie o en paralelo.

Transmisión en serie. Independientemente del código, del tipo de transmisión, y de la velocidad, los datos son transmitidos bit a bit utilizando un canal único.

Transmisión en paralelo. En éste caso se transmiten simultáneamente todos los bits de un carácter o de una palabra de máquina, lo que implica un medio de transmisión con tantos canales (conductores) como bits contenga el elemento de base, lo que

resulta en una mayor complejidad del medio y redundancia en una mayor velocidad de transmisión.

Cualquiera que sea la forma en que se transfieran los datos, es absolutamente preciso que el transmisor y receptor de los mismos tengan una base de tiempo común a fin de dar el mismo valor de 1 ó 0 a cada instante.

Esto es lo que se entiende por sincronización de transmisor y receptor y que, en toda transmisión de datos, debe hacerse al menos, a tres niveles:

- a) Sincronización a bit, para determinar el instante en que, teóricamente, debe comenzar a contarse un bit.
- b) Sincronización a carácter, mediante el cual el elemento receptor "sabe" que n bits corresponden a un carácter, o dicho de otra forma, cuál es el primer bit de un carácter.
- c) Sincronización de mensaje o bloque, con el que se define el conjunto de caracteres que van a construir la unidad base para el tratamiento de errores y que forma parte del protocolo de comunicaciones.

Tipos de transmisión.

Para la transmisión de datos, básicamente se puede hablar de dos tipos: asíncrona y síncrona.

- a) Asíncrona (**start/stop**).- La señal que se transmite es de la forma indicada en la figura 23; es decir, los n bits que forman la palabra del código

correspondiente van siempre precedidos de un bit "0", llamado **arranque** o **start** y seguidos de, al menos, un bit "1" conocido como **parada** o **stop**, que puede ser, en algunos sistemas, de 1.5 ó 2 bits.

El conjunto citado constituye un "carácter", pudiendo mediar entre dos consecutivos, cualquier separación.

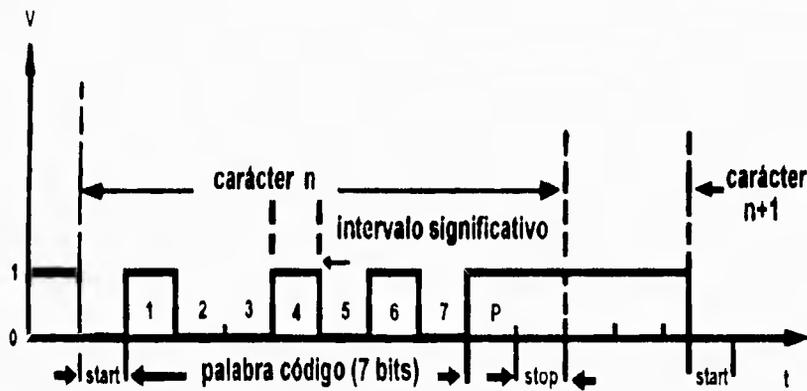


FIGURA 23. Señal de datos asíncrona.

Este tipo de transmisión se basa en la existencia dentro del receptor de una base de tiempo (reloj) teóricamente igual a la que existe en el transmisor.

La sincronización a bit se consigue arrancando el reloj del receptor en el instante en que comienza el bit de start; dado que esta operación se repite en cada carácter, tiene poca importancia la pequeña diferencia que pueda existir respecto al reloj del transmisor.

La sincronización a carácter es aquí muy simple ya que el receptor sabe que el primer bit significativo es siempre el que sigue al de start, que es perfectamente identificable.

La transmisión de tipo start/stop es de uso generalizado en bajas velocidades, consideradas que son las menores a 1200 bps.

- b) Síncrona.- En la transmisión síncrona los datos fluyen del transmisor al receptor con una cadencia fija y constante, marcada por una base de tiempo común para todos los elementos que intervienen en la transmisión. La señal de datos presenta la forma de la figura 24 en la que T es la duración del intervalo mínimo (bit) y $1/T$ es la frecuencia del reloj o frecuencia de bit.

La señal de sincronización, en el extremo transmisor, puede estar generada por el dispositivo de terminación o el dispositivo de comunicación, según el caso, pero siempre es común a ambos.

En el extremo receptor el dispositivo de comunicación reconstruye la señal del reloj de origen a partir de la señal recibida en la línea, realizándose en él la sincronización de bit y entrega al dispositivo de terminación ambas señales (datos y reloj) ya sincronizadas.

La sincronización a carácter se hace en el dispositivo de terminación mediante el envío de combinaciones especiales de bits (por ejemplo SYN), irrepetibles por desplazamiento. Recibidas estas combinaciones, el dispositivo de terminación "sabe" que cada n bits consecutivos forman un carácter.

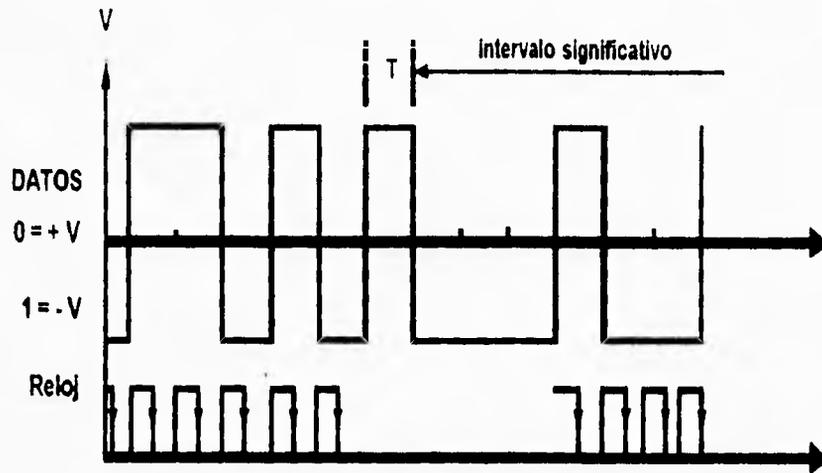


FIGURA 24. Señal de datos sincrona.

Utilización del circuito de datos.

Existen tres modos básicos de utilización de un circuito de datos:

- a) Simplex: La transmisión se realiza solamente en un sentido, sin posibilidad de hacerlo en el opuesto.

- b) Semidúplex (**Half-Duplex**): La transmisión se lleva a cabo alternativamente en uno u otro sentido, exigiendo un cierto tiempo para cada inversión de dirección, lo que reduce la eficiencia del sistema.

- c) Dúplex integral (**Full-Duplex**): Consiste en la transmisión simultánea e independiente en ambos sentidos, ya sea enviando datos en los dos, o bien datos en uno y control de los mismos en el otro.

Estructura de Red.

Para el diseño completo de una red, se puede lograr una simplificación notable cuando se separan los aspectos puros de comunicación de la red (subred), de los aspectos de aplicación (Host o equipos anfitriones).

Una subred en la mayor parte de las redes de área extendida consiste de dos componentes diferentes; las líneas de transmisión y los elementos de conmutación.

Las líneas de transmisión (también conocidas como circuitos, canales o troncales), se encargan de mover bits entre máquinas.

Los elementos de conmutación, son ordenadores especializados, que se utilizan para conectar dos o más líneas de transmisión. Cuando los datos llegan por una línea de entrada, el elemento de conmutación deberá seleccionar la línea de salida para reenviarlos.

De acuerdo con la terminología de ARPANET (siglas en inglés de Agencia de Proyectos Avanzados de Investigación del Departamento de Defensa de los Estados Unidos), a los elementos de conmutación se les identifica como Procesadores de Intercambio de Mensajes, IMP; en el modelo que se muestra en la figura 25, cada uno de los Host está conectado a un IMP, todo el tráfico que va o viene de éste pasa a través del IMP.

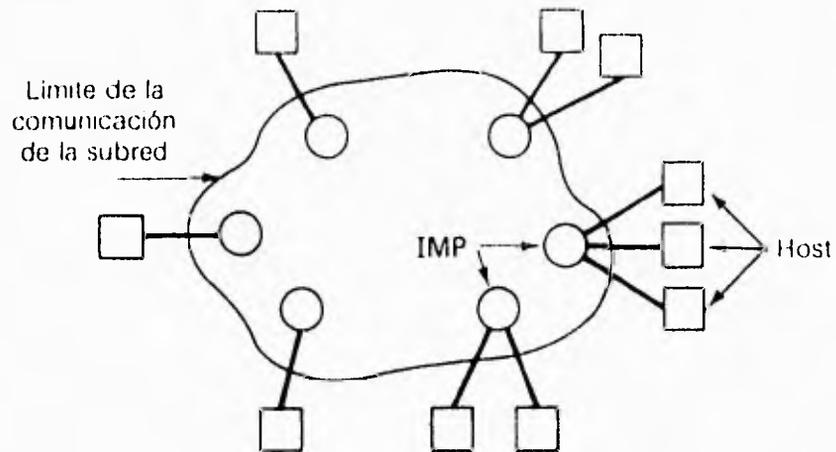


FIGURA 25. Relación entre los host y la subred.

En términos generales, puede decirse que hay dos tipos de diseño para la subred de comunicaciones:

1. Canales punto a punto.
2. Canales de difusión.

En el diseño punto a punto, la red contiene varios cables o líneas, conectadas cada una a un par de IMP. Si dos IMP desean comunicarse y no comparten una línea común, deberán hacerlo indirectamente a través de otros IMP. Cuando un mensaje (para la subred se denomina paquete) se envía a otro IMP, a través de uno o más IMP intermediarios. Se almacenará ahí y no continuará su camino hasta que la línea de salida necesaria para reenviarlo esté libre. La subredes que utilizan este principio se

denominan subredes punto a punto, de almacenamiento y reenvío o de conmutación de paquetes.

Un aspecto importante de diseño, cuando se utiliza una subred punto a punto, consiste en considerar como deberá ser la topología de interconexión de los IMP. Las redes locales que se diseñaron como tales, tienen por lo general topología simétrica. A diferencia de éstas las redes de área extendida tienen típicamente topologías irregulares.

En el diseño de difusión, que se emplea como un segundo tipo de arquitectura de comunicación, y lo utilizan la mayoría de las redes de área local, el IMP se reduce a un solo chip, el cual se incluye en el interior del Host, de tal manera que siempre habrá un Host por cada IMP, mientras que en una red de área extendida podrá haber varios Host por IMP.

Los sistemas de difusión tienen un solo canal de comunicación, que a su vez, es compartido por todas las máquinas que constituyen la red. Los paquetes que una máquina cualquiera envía, son recibidos por todas las demás. El campo de direcciones, localizado en el interior de un paquete, especifica a quién va dirigido. En el momento en que se recibe el paquete, se verifica el campo de dirección y si el paquete está destinado para otra máquina, éste simplemente se ignora.

Topología de redes.

Las formas topológicas básicas de las redes de comunicación de computadoras que se conectan por medio de canales de enlace punto a punto son las del modo estrella, poligonales, de árbol y de malla, como se aprecia en la figura 26. Las tres primeras son relativamente simples, en el sentido de que la ruta que siguen se define en forma

única y la conmutación es relativamente simple, salvo quizás en la parte central. Estas tres topologías se utilizan en forma frecuente para conectar terminales a una computadora central. Las redes de malla son considerablemente más complejas, tanto porque existen rutas alternativas entre los pares de fuente y destino, como porque se requiere de conmutación.

Las redes pueden conectarse en forma jerárquica, como se ilustra en la figura 26, teóricamente, a varios niveles. En la vasta mayoría de las implementaciones hay a lo sumo dos niveles:

1. Subredes de acceso local, que conectan a usuarios finales (terminales, computadoras) con la red.
2. Subred primaria, que proporciona la conmutación y la comunicación de larga distancia.

Comúnmente, el acceso local se logra por medio de estructuras de estrella, poligonales o árbol, mientras que la subred primaria es una red de malla.

Otro tipo de topología de red, es el empleado en las redes de difusión. En cualquier instante una máquina conectada a un bus, tiene la función maestra y está capacitada para transmitir, mientras que el resto de las máquinas no pueden hacerlo. La figura 27 ilustra este tipo de topología comúnmente denominado de Bus.

Se necesita un mecanismo de arbitraje para resolver los problemas en el momento en que dos o más máquinas quieran transmitir a la vez. Este mecanismo de arbitraje puede ser del tipo centralizado o del tipo distribuido.

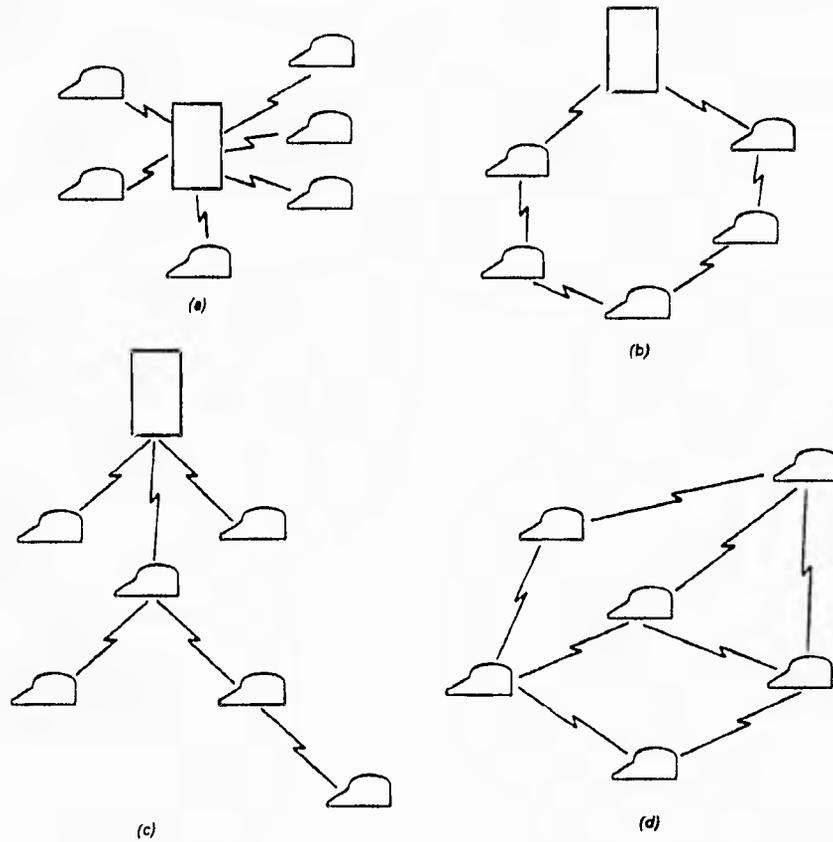


FIGURA 26. Topologías de redes: a) Estrella, b) Poligonal, c) Arbol, d) Malla

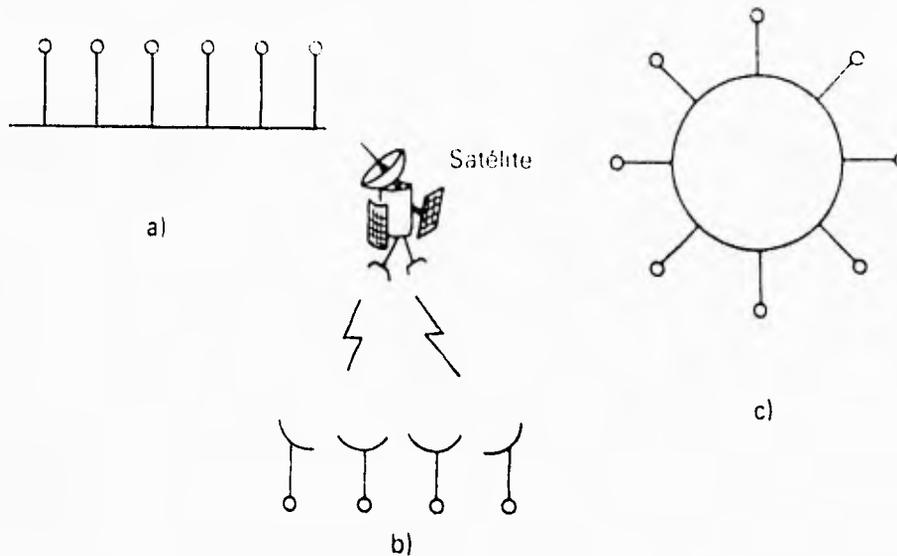


FIGURA 27. Comunicación de subredes de difusión: a) Bus, b) Satélite o radio, c) Anillo.

Una segunda posibilidad es la representada por la inclusión de un satélite o sistema de radiodifusión terrestre. Cada IMP tiene una antena a través de la cual puede enviar o recibir. Todos los IMP pueden oír la salida del satélite, y de la misma forma, también pueden oír las transmisiones que hacen otros IMP hacia el satélite.

Modos de conmutación.

Los datos se pueden conmutar a través de redes en dos modos básicos: **por circuitos** o **con escala** (por almacenamiento y retransmisión):

Conmutación por circuitos.

En la conmutación por circuitos o circuital, es necesario encontrar suficientes líneas libres en la red para formar una trayectoria entre el punto de origen y el de

terminación de los datos antes de que pueda comenzar la transmisión. Sin embargo, una vez que identifica la trayectoria se destina a la duración de la transacción y la transmisión continua en tiempo real; se utiliza por ejemplo en la red telefónica.

Conmutación con escala.

Cuando se utiliza la transmisión con escala o por almacenamiento y retransmisión, las unidades de datos se almacenan temporalmente en cada conmutador, y la transmisión puede continuar mientras esté disponible un enlace libre con el siguiente conmutador en alguna trayectoria de transmisión hacia el destino. Existen dos métodos principales para la conmutación con escala: la **conmutación de mensajes** y la **de paquetes**.

En la primera, se envían mensajes completos al mismo tiempo y se almacenan temporalmente en cada conmutador.

En las redes con conmutación de paquetes los mensajes se han dividido en "paquetes" de longitud limitada a unos cuantos miles de bits. Además, en la conmutación de paquetes éstos suelen almacenarse temporalmente en la memoria de alta velocidad de las computadoras de conmutación, mientras que en la conmutación de mensajes, a menudo se almacenan temporalmente en periféricos más lentos, tales como discos, cintas o una combinación de ellos. La principal motivación para el uso de la conmutación de paquetes en lugar de mensajes es la reducción del retardo. Cada vez que una unidad de datos se introduce en el acumulador intermedio (almacenamiento temporal) de un conmutador, se retarda el tiempo de transmisión de la unidad de datos, por tanto, si las unidades de datos son pequeñas, el retardo se reduce, además, como las unidades son de menor tamaño se pueden almacenar temporalmente en la memoria de alta velocidad, reduciendo aún más los retardos, lo que acorta los tiempos de procesamiento en los conmutadores. Teniendo como consecuencia, que aunque la

interacción de tiempo real empleando la conmutación de mensajes no suele ser factible, puede aceptarse como tal por medio de la conmutación de paquetes.

De lo expuesto anteriormente se puede resumir que la conmutación de circuitos es la más adecuada para el tráfico que se caracteriza por una transmisión larga y relativamente estable. La conmutación de mensajes es más apropiada para mensajes ocasionales que son muy largos y cuando las restricciones de retardo no son importantes. La conmutación de paquetes es la indicada cuando el tráfico se produce "por oleadas"; es decir, hay muchas transmisiones cortas, cada una con una velocidad de transmisión relativamente alta.

Las redes con escala de ambos tipos también realizan conversión a velocidad natural debido al almacenamiento intermedio (temporal). En la conmutación por circuitos, las velocidades de transferencia de datos en cada extremo del circuito deberán ser iguales.

Arquitectura de redes y protocolos.

Las redes de comunicación de datos son en extremo complejas, por lo tanto, resulta útil clasificar por jerarquías las funciones que realizan. Los diferentes estratos o capas de la clasificación van desde las funciones de interacción física simples hasta el complejo apoyo funcional de alto nivel para aplicaciones de usuario. El concepto de clasificación en estratos jerárquicos se basa en el hecho de que cada estrato hace uso de los estratos inferiores y se suma a ellos. La especificación de las funciones que se realizan en cada estrato y de las entrecaras en los estratos define la arquitectura de la red.

La arquitectura de una red es **cerrada** o **abierta**, dependiendo de si está diseñada para permitir el uso de un sólo o diferentes fabricantes. La **System Network Architecture** (arquitectura de la red del sistema, SNA) de IBM es un ejemplo de arquitectura cerrada. La norma **Open System Interconnection** (interconexión de sistemas abiertos, OSI) de la **International Standards Organization** define una arquitectura abierta.

La figura 28 ilustra cinco niveles de la arquitectura SNA y siete de OSI.



FIGURA 28. Arquitectura de sistemas: a) SNA de IBM, b) Open System Interconnection OSI de ISO.

El objetivo básico del modelo de referencia OSI es estandarizar las reglas de interacción entre sistemas interconectados. La elección del término abierto significa que un sistema, bajo estos estándares internacionales estará abierto a cualquier sistema en el mundo que cumpla con los mismos.

El modelo OSI divide el proceso de comunicación en siete estratos o capas, los principios son:

1. Una capa puede ser creada donde un nivel diferente de abstracción sea necesario.
2. Cada capa realizará una función bien definida.
3. La función de cada capa deberá estar enfocada hacia la definición de estandarización internacional de protocolos.
4. Los límites de cada capa deben estar determinados para minimizar el flujo de información a través de las interfaces.
5. El número de capas podrá ser tan grande como para que las funciones necesarias no sean realizadas en la misma capa y tan pequeño como para que la arquitectura no se vuelva pesada.

La idea de comunicación multicapa por ejemplo, para el modelo que se ilustra en la figura 29 se realizaría de la siguiente manera: un proceso que se está ejecutando en la capa 7 produce un mensaje m, el cual pasa de la capa 7 a la capa 6 de acuerdo con la definición de interface de capa 6/7. La capa 6, en este ejemplo, transforma de cierta manera el mensaje (por ejemplo, mediante una compresión de texto), y lo pasa como el nuevo mensaje M a la capa 5, a través de la interface 5/6. En este ejemplo la capa 5 no modifica el mensaje, sino únicamente regula la dirección de flujo (es decir, evita que algún mensaje de entrada sea considerado por la capa 6, mientras ésta se encuentra ocupada enviando una serie de mensajes de salida a la capa 5).

máquina destinataria, pueda reconstruir el mensaje mediante la colocación correcta de las unidades, si es que las otras capas no mantienen la secuencia. También, en muchas capas, las cabeceras contienen campos relacionados con el tamaño, tiempo y otros tipos de control.

La capa 3 se encarga de decidir cuál de las líneas de salida va a utilizarse, le coloca las cabeceras apropiadas y pasa los datos a la capa 2. En la capa 2, se entrega la unidad resultante a la capa 1 para su transmisión física. En la máquina receptora, el mensaje se mueve de capa en capa hacia la parte superior, y las cabeceras se van retirando a medida que asciende. Ninguna de las cabeceras correspondientes a las capas inferiores a la n pasan a ésta.

La importancia de la figura 29 radica en el entendimiento de la relación entre la comunicación virtual y la real, y la diferencia entre protocolos e interfaces. Desde el punto de vista conceptual, los procesos pares de la capa 4, por ejemplo, conciben su comunicación como si fuera "horizontal", utilizando el protocolo de la capa 4.

Cada uno pareciera utilizar procedimientos llamados "enviar al otro lado" y "obtener del otro lado", aún cuando estos realmente se comuniquen con las capas inferiores, a través de la interface 3/4, y no con el otro lado.

La abstracción del proceso par es vital para el diseño de redes, sin esta técnica de abstracción sería casi imposible dividir el diseño de una red completa, ya que se volvería intratable al no dividirse en varios más pequeños y manejables, esto es, diseñar capas individuales.

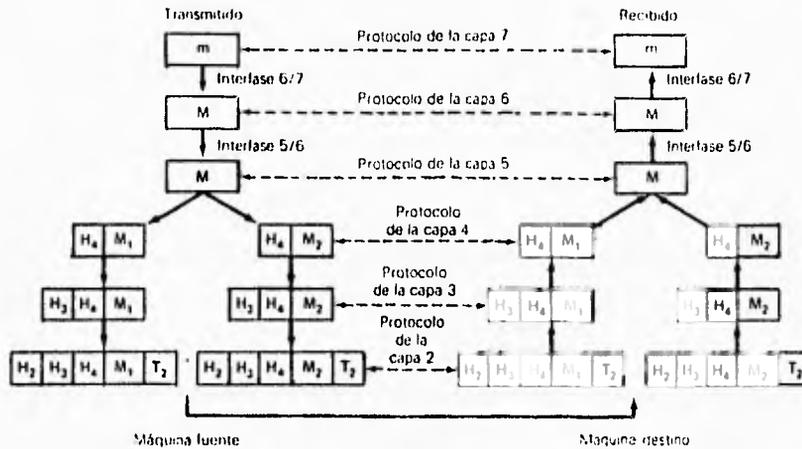


FIGURA 29. Ejemplo del flujo de información que soporta la comunicación virtual en la capa 7.

La abstracción del proceso par es vital para el diseño de redes, sin esta técnica de abstracción sería casi imposible dividir el diseño de una red completa, ya que se volvería intratable al no dividirse en varios más pequeños y manejables, esto es, diseñar capas individuales.

De acuerdo con el modelo de referencia OSI para la interconexión de redes, las capas que lo forman, ilustradas en la figura 30, se definen a continuación.

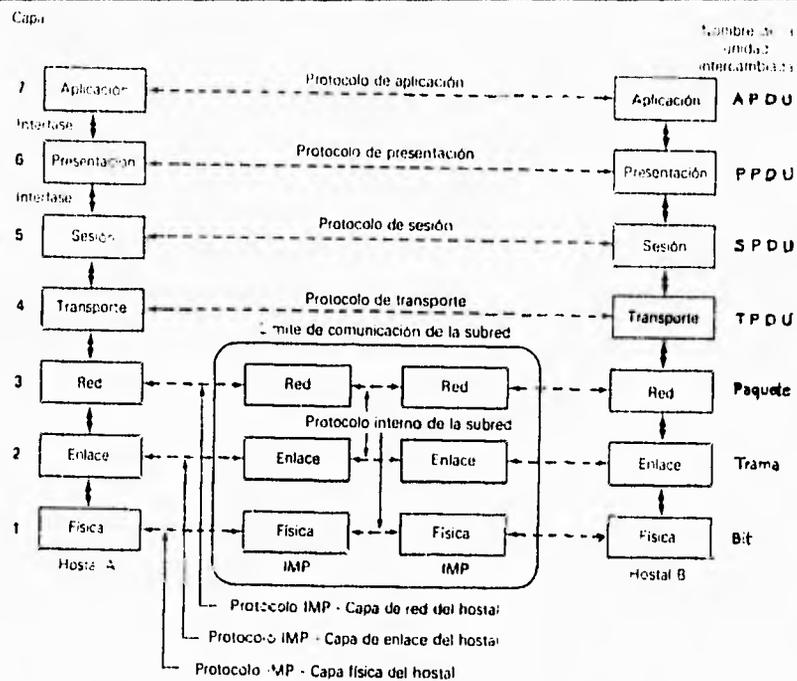


FIGURA 30. Arquitectura de red, basada en el modelo OSI.

Capa Física.

La capa física se ocupa de la transmisión de bits a lo largo de un canal de comunicación. Su diseño debe asegurar que cuando un extremo envía un bit con valor 1, éste se reciba exactamente como un bit con ese valor en el otro extremo, y no como un bit de valor 0. Preguntas comunes aquí son cuántos volts deberán utilizarse para representar un bit de valor 1 ó 0, cuántos microsegundos deberá durar un bit; la posibilidad de realizar transmisiones bidireccionales en forma simultánea; la forma de establecer la conexión inicial y cómo interrumpirla cuando ambos extremos terminan su comunicación, o bien, cuántas puntas terminales tiene el conector de la red y cuál es el uso de cada una de ellas. Los problemas de diseño a considerar aquí son los aspectos mecánico, eléctrico de procedimiento de interface y el medio de transmisión

física, que se encuentra bajo la capa física. Se puede considerar que el diseño de la capa física está dentro del dominio del ingeniero eléctrico.

Capa de Enlace.

La tarea primordial de la capa de enlace consiste en, a partir de un medio de transmisión común y corriente, transformarlo en una línea sin errores de transmisión para la capa de red. Esta tarea hace que el emisor troce la entrada de datos en tramas de datos, y las trasmite en forma secuencial y procese las tramas de asentimiento, devueltas por el receptor. Como la capa física básicamente acepta y trasmite y flujo de bits sin tener en cuenta su significado o estructura, recae sobre la capa de enlace la creación o reconocimiento de los límites de la trama. Esto puede llevarse a cabo mediante la inclusión de un patrón de bit especial al inicio y al término de la trama; en caso de que estos patrones de bits pueden aparecer entre los datos, deberá tenerse un cuidado especial para evitar cualquier confusión al respecto.

La trama puede destruirse por completo debido a una ráfaga de ruido en la línea, en cuyo caso el software de la capa de enlace deberá retransmitir la trama.

Otro de los problemas que aparecen en la capa de enlace es el referente a cómo evitar que un transmisor muy rápido sature con datos a un receptor lento. Se deberá emplear un mecanismo de regulación de tráfico que permita que el transmisor conozca el espacio de memoria que en ese momento tenga el receptor.

Una dificultad más aparece cuando la línea tiene la capacidad de utilizarse para transmitir datos bidireccionalmente. El problema radica en que los asentimientos para el tráfico de A a B compiten por el uso de la línea con las tramas de datos del tráfico que va de B hacia A.

Capa de Red.

La capa de red se ocupa del control de la operación de la subred. Un punto de suma importancia en su diseño, es la determinación sobre cómo encaminar los paquetes del origen al destino. Las rutas podrían basarse en tablas estáticas que se encuentran "cableadas" en la red y que difícilmente podrían cambiarse. También, podrían determinarse al inicio de cada conversación, por ejemplo en una sesión de terminal. Por último, podrían ser de tipo dinámico, determinándose en forma diferente para cada paquete, reflejando la carga real de la red.

Si en un momento dado hay demasiados paquetes presentes en la subred, ellos mismos se obstruirán y darán lugar a un cuello de botella. El control de tal congestión dependerá también de la capa de red.

El software deberá saber, por lo menos, cuántos paquetes o caracteres o bits se enviaron a cada cliente, con objeto de producir información de facturación.

Capa de Transporte.

La función principal de la capa de transporte consiste en aceptar los datos de la capa de sesión, dividirlos, siempre que sea necesario, en unidades más pequeñas, pasarlos a la capa de red y asegurar que todos ellos lleguen correctamente al otro extremo. Además, todo este trabajo se debe hacer de manera eficiente de tal forma que aisle la capa de sesión de los cambios inevitables a los que está sujeta la tecnología del hardware.

Bajo condiciones normales, la capa de transporte crea una conexión de red distinta para cada conexión de transporte solicitada por la capa de sesión. Si la conexión de

transporte necesita un gran caudal, ésta podría crear múltiples conexiones de red, dividiendo los datos entre las conexiones de la red con objeto de mejorar dicho caudal. Por otra parte, si la creación o mantenimiento de la conexión de una red resulta costoso, la capa de transporte podría multiplexar varias conexiones de transporte sobre la misma conexión de red para reducir dicho costo. En todos los casos, la capa de transporte se necesita para hacer el trabajo de multiplexión transparente a la capa de sesión.

La capa de transporte determina qué tipo de servicio se debe dar a la capa de sesión, y en último término a los usuarios de la red. El tipo más popular de conexión de transporte corresponde al canal punto a punto sin error, por medio del cual se entregan los mensajes en el mismo orden en que fueron enviados. Sin embargo, el transporte de mensajes aislados sin garantizar el orden de distribución y la difusión de mensajes a destinos múltiples es otra posibilidad de servicio de transporte. El tipo de servicio se determina cuando se establece la conexión.

Esta capa es del tipo origen-destino o extremo a extremo. Es decir, un programa en la máquina origen lleva una conversación con un programa parecido que se encuentra en la de destino, utilizando las cabeceras de los mensajes y los mensajes de control. Los protocolos, de las capas inferiores, son entre cada máquina y su vecino inmediato, y no entre las máquinas origen y destino, las cuales podrían estar separadas por muchos IMP.

Algunos host son de multiproceso, lo cual implica que múltiples conexiones estarán entrando y saliendo en cada uno de ellos. Se necesita alguna forma para decir qué mensaje pertenece a qué conexión.

Además de multiplexar varios flujos de mensaje en un canal, la capa de transporte debe ocuparse del establecimiento y liberación de conexiones a través de la red. Esto requiere algún mecanismo de denominación, de tal forma que un proceso en una máquina tenga una manera para describir con quién desea conversar. También debe haber un mecanismo para regular el flujo de información, de manera que un host muy rápido no pueda desbordar a otro más lento.

Capa de Sesión.

La capa de sesión permite que los usuarios de diferentes máquinas puedan establecer sesiones entre ellos. A través de una sesión se puede llevar a cabo un transporte de datos ordinario, tal y como lo hace la capa de transporte, pero mejorando los servicios que ésta proporciona y que se utilizan en algunas aplicaciones. Una sesión podría permitir al usuario acceder a un sistema de tiempo compartido a distancia, o transferir un archivo entre dos máquinas.

Uno de los servicios de la capa de sesión consiste en gestionar el control de diálogo. Las sesiones permiten que el tráfico vaya en ambas direcciones al mismo tiempo, o bien, en una sola dirección en un instante dado. Si el tráfico puede ir en una sola dirección en un momento dado, la capa de sesión ayudará en el seguimiento de quién tiene el turno.

La administración del testigo es otro de los servicios relacionados con la capa de sesión. Para el caso de algunos protocolos resulta esencial que ambos lados no traten de realizar la misma operación en el mismo instante. Para manejar estas actividades, la capa de sesión proporciona testigos que puedan ser intercambiados. Solamente el extremo con el testigo puede realizar la operación crítica

Tenemos entonces que otro de los servicios de la capa en cuestión es la sincronización. Considérense, por ejemplo, los problemas que podrían ocurrir cuando se tratara de hacer una transferencia de archivo de dos horas entre dos máquinas en una red con un tiempo medio de una hora entre caídas. Después de abortar cada archivo, la transferencia completa tendría que iniciarse de nuevo y, probablemente, se encontraría de nuevo con la siguiente caída de la red. Para eliminar este problema, la capa de sesión proporciona una forma para insertar puntos de verificación en el flujo de datos, con objeto de que, después de cada caída, solamente tengan que repetirse los datos que se encuentren después del último punto de verificación.

Capa de Presentación.

La capa de presentación realiza ciertas funciones que se necesitan a menudo para buscar una solución general para ellas, más que dejar que cada uno de los usuarios resuelva los problemas. En particular y, a diferencia de las capas inferiores, que únicamente están interesadas en el movimiento fiable de bits de un lugar a otro, la capa de presentación se ocupa de los aspectos de sintaxis y semántica de la información que se transmite.

Un ejemplo típico de servicio de la mencionada capa es el relacionado con la codificación de datos conforme a lo acordado previamente. La mayor parte de los programas de usuario no intercambia cadenas de bits binarios aleatorios, más bien, cosas como nombres de personas, datos, cantidades de dinero y facturas. Estos artículos están representados por cadenas de caracteres, números enteros o de punto flotante, así como de estructuras de datos constituidas por elementos más sencillos. Los ordenadores pueden tener diferentes códigos para representar las cadenas de caracteres; para posibilitar la comunicación, la estructura de los datos que se va a intercambiar puede definirse en forma abstracta junto con una norma de codificación

que se utilice "en el cable". El trabajo de manejar estas estructuras de datos abstractos y la conversión de representación utilizada en el interior del ordenador a la representación normal de la red, lo cual se lleva a cabo a través de la capa de presentación.

La capa de presentación está relacionada también con otros aspectos de representación de la información. Por ejemplo, la compresión de datos se puede utilizar aquí para reducir el número de bits que tienen que transmitirse, y el concepto de criptografía que se necesita utilizar frecuentemente por razones de privacidad y de autenticación.

Capa de Aplicación.

Esta capa contiene una variedad de protocolos que se necesitan frecuentemente. Por ejemplo, hay centenares de tipos de terminales incompatibles en el mundo. Considérese la situación de un editor orientado a pantalla con el que se desea trabajar en una red con diferente tipos de terminales, cada uno de ellos con distinta forma de distribución de pantalla, de secuencia de escape para insertar y borrar texto, de movimiento de cursor, etc.

Una forma de resolver este problema consiste en definir una terminal virtual de red abstracto, con el que los editores y otros programas puedan ser escritos para tratar con él.

También tiene la función de transferencia de archivos. Distintos sistemas de archivos tienen diferentes convenciones para denominar un archivo, así como diferentes formas para representar las líneas de texto, etc. La transferencia de archivos entre dos sistemas diferentes requiere de la solución de las incompatibilidades que pudiesen

existir. Este trabajo, así como el correo electrónico, la entrada de trabajo a distancia, el servicio de directorio y otros servicios de propósito general y específico, también corresponden a la capa de aplicación.

Transmisión de Datos en el modelo OSI.

En la figura 31 se muestra un ejemplo de cómo pueden transmitirse los datos mediante el empleo del modelo OSI. El proceso emisor tiene algunos datos que se desean enviar al proceso receptor. Este entrega los datos a la capa de aplicación, la cual añade entonces la cabecera de aplicación, AH (la cual puede ser nula), a la parte delantera de los mismos y entrega el elemento resultante a la capa de presentación.

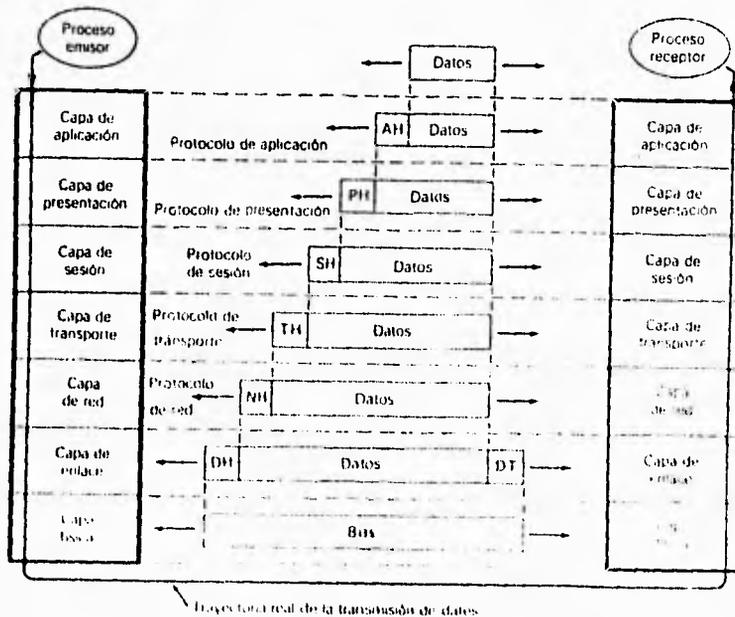


FIGURA 31. Ejemplo de la utilización del modelo OSI.

La capa de presentación transforma este elemento de diferentes formas, con la posibilidad de incluir una cabecera en la parte frontal, dando el resultado a la capa de sesión. Es importante observar que la capa de presentación no sabe qué parte de los datos que le dió la capa de aplicación, corresponden a AH, y cuáles son los que corresponden a los verdaderos datos del usuario, ya que no está dentro de sus funciones.

Este proceso se sigue repitiendo hasta que los datos alcanzan la capa física, lugar en donde efectivamente se transmiten a la máquina receptora. En la otra máquina, se van quitando una a una las cabeceras, a medida que los datos se transmiten a las capas superiores, hasta que finalmente llegan al proceso receptor.

La idea fundamental, a lo largo de este proceso, es que si bien la transmisión es efectiva, como se muestra en la figura 31, cada una de las capas está programada como si fuera una transmisión horizontal. Cuando la capa de transporte emisora obtiene, por ejemplo, un mensaje de la capa de sesión le asigna una cabecera de transporte y lo envía a la capa de transporte receptora. Desde el punto de vista de la capa de transporte, el hecho de que debe entregar el mensaje a la capa de red de su propia máquina es un detalle técnico sin importancia

Protocolos.

Al conjunto de reglas que regulan el intercambio de información entre elementos que cooperan se le denomina **protocolo**.

En un sistema distribuido, un protocolo permitirá fundamentalmente, iniciar, mantener y terminar un diálogo entre elementos del sistema; así mismo, un protocolo regulará la

forma en que deberán generarse e interpretarse los elementos orientados al control de errores y la forma de recuperar la información recibida erróneamente, igualmente estarán previstas en un protocolo la forma de identificar el camino que se utiliza para el intercambio de información y la identificación del tipo de mensajes. Los elementos del diálogo de un protocolo se conocen como mensajes.

Dentro de cada mensaje, además de los datos, objeto final del diálogo, existirán otras informaciones destinadas a permitir: la detección de errores, la identificación del camino, el control de flujo de información y la identificación del tipo de mensaje de que se trate, los que se materializarán en bloques con una determinada estructura que constituirá su **formato**.

El establecimiento del diálogo implicará la existencia, en las entes que se comunican, de elementos que materialicen los algoritmos de generación e interpretación de los mensajes, según las reglas que constituyen el protocolo.

Protocolos de Control del Enlace de Datos.

Según la arquitectura ISO, la capa 2 (control del enlace) da servicio a la capa 3 (control de red) mejorando el servicio básico de transmisión de datos dado por la capa 1 (control del medio físico). A su vez podríamos identificar una capa "0" formada por el medio de propagación, (circuito telefónico, cable coaxial o par trenzado, radio, entre otros) que da un servicio básico de propagación de señales. Si añadimos un transmisor y un receptor a ese medio tenemos un canal de transmisión de datos. Al conjunto de canales de transmisión se le denomina circuito de transmisión de datos, del cual haremos referencia en adelante simplemente como **circuito**. El control de este circuito (interface de acceso y protocolos de conexión-desconexión), constituye la capa 1 (control del medio físico) de la arquitectura de protocolos de la OSI.

El propósito básico de la capa de enlace es resolver los problemas planteados por la falta de fiabilidad de los circuitos, como consecuencia de los errores en los datos recibidos, inducidos por el ruido de transmisión y otras perturbaciones. Las funciones añadidas por la capa 2 al circuito dan lugar al servicio conocido como enlace de datos.

Al enlace de datos se le define como un conjunto de dos o más instalaciones terminales y un circuito de interconexión, trabajando con un método particular que permite el intercambio de información.

Los protocolos de la capa de enlace definen, típicamente, reglas para: iniciar y terminar un enlace (sobre un circuito previamente establecido), controlar la correcta transferencia de información y recuperarse de anomalías.

Los protocolos de la capa de enlace clásicos han sido orientados a carácter. Esto es, utilizan mensajes de control constituidos por uno o varios caracteres, llamados de control de la comunicación, que complementan los caracteres convencionales del alfabeto utilizado (EBCDIC, CCITT no. 5, ASCII, entre otros).

Otro tipo de protocolo de enlace utiliza campos de control con bits (o grupos de bits) cuyo significado está dado por su posición, en lugar de utilizar combinaciones de caracteres de control; este tipo de protocolos es denominado de significado posicional, o más frecuentemente orientado a bit.

Los protocolos de la capa de enlace realizan las siguientes funciones básicas:

- **Sincronización de trama y transparencia**, en donde se establece la delimitación de los mensajes para poder recuperarlos a partir de las secuencias de bits o caracteres recibidos por el circuito físico.

- **Control de errores de transmisión**, introduciendo redundancia en los mensajes para poder detectar los errores causados por el ruido o interferencias en la transmisión.

- **Coordinación de la comunicación**, mediante reglas que determinan el turno de intervención, a través del enlace.

- **Compartición del circuito físico**, multiplexandolo dinámicamente, entre diferentes enlaces lógicos, mediante la inclusión de direcciones en los mensajes, para identificar el remitente y/o destinatario.

- **Recuperación ante fallas**, supervisando la comunicación, detectando anomalías, e intentando restablecer la situación normal.

Sincronización de trama y transparencia.

En el circuito físico los datos suelen transmitirse en serie, utilizando técnicas de modulación.

En el nivel de enlace, los datos recogidos de la capa superior se agrupan para su transmisión formando tramas (bloques, paquetes, mensajes) que incluyen bits de redundancia (SVT, Secuencia de verificación de trama, CRC, Cyclic Redundancy Check, LRC, Longitudinal Redundancy Check, BCC, Block Check Character) y otros bits de control del protocolo. Para delimitar el principio y fin de la trama se usan

caracteres de control o cadenas de bits específicos, lo que se conoce como sincronización de trama. El uso de esos delimitadores puede restringir el conjunto de caracteres utilizables por la capa superior y para poder transmitir cualquier cadena binaria es preciso adoptar mecanismos de transparencia que remuevan esas limitaciones.

Existen tres formas básicas de sincronización de trama, según los delimitadores utilizados:

- a) Principio y fin (diferentes).
- b) Principio y cuenta.
- c) Bandera (principio y fin únicos).

En todos los casos, la redundancia se inserta en la parte final de la trama (precediendo o siguiendo al delimitador que cierra la trama), pues normalmente se obtiene mediante un hardware que la va calculando a medida que se transmiten bits al circuito.

La figura 32 ilustra el alfabeto CCITT no. 5 (o ASCII) donde los caracteres de control están indicados por TC1, TC2,, TC10.

Delimitador Principio y Fin.

Se identifica el principio de la trama con un caracter de principio de trama, PDT, utilizándose para ello los caracteres **STX (Start of Text)**, o **SHO (Start of Header)** en el caso de que la trama incluya un encabezado con información adicional, cerrándose

con uno de fin de trama, FDT, cuando se utilizan **ETX (End of TEXT)** o **ETB (End of Block)** para distinguir entre trama final de un mensaje y tramas intermedias.

La trama suele contener otros caracteres de control (CC), por ejemplo: origen o destino de la trama, que preceden a los datos y se termina con la redundancia en la secuencia de verificación de trama (SVT). Eso ocurre con las tramas que contienen información de la capa superior, mientras que las tramas que sólo contienen datos de control del propio protocolo de enlace se identifican mediante secuencias de uno o varios caracteres de control diferentes a los de principio o fin.

Este tipo de sincronización de trama está asociada a los denominados protocolos orientados a carácter (BSC de IBM, BMP de ISO, entre otros), para construirse los mensajes de control del protocolo con caracteres también de control de la comunicación pertenecientes a un alfabeto determinado.

Este tipo de sincronización de trama no es transparente, es decir, no admite datos iguales a los caracteres de control; para conseguir una transmisión transparente, los símbolos de control, generados por la capa de enlace, duplican su longitud, formándose el carácter del modo no transparente precedido por un carácter común de "escape" del protocolo (DLE - **Data Link Escape**) y los datos se transmiten tal y como los entrega la capa superior, salvo los caracteres eventuales que coincidan con el de escape DLE, que también se duplican. De forma que en recepción, al llegar un DLE se espera la llegada del siguiente, si es otro DLE se elimina uno de ellos y el otro se entrega como dato a la capa superior. Si es un caracter de control se interpreta como

con uno de fin de trama, FDT, cuando se utilizan **ETX (End of TEXT)** o **ETB (End of Block)** para distinguir entre trama final de un mensaje y tramas intermedias.

La trama suele contener otros caracteres de control (CC), por ejemplo: origen o destino de la trama, que preceden a los datos y se termina con la redundancia en la secuencia de verificación de trama (SVT). Eso ocurre con las tramas que contienen información de la capa superior, mientras que las tramas que sólo contienen datos de control del propio protocolo de enlace se identifican mediante secuencias de uno o varios caracteres de control diferentes a los de principio o fin.

Este tipo de sincronización de trama está asociada a los denominados protocolos orientados a carácter (BSC de IBM, BMP de ISO, entre otros), para construirse los mensajes de control del protocolo con caracteres también de control de la comunicación pertenecientes a un alfabeto determinado.

Este tipo de sincronización de trama no es transparente, es decir, no admite datos iguales a los caracteres de control; para conseguir una transmisión transparente, los símbolos de control, generados por la capa de enlace, duplican su longitud, formándose el carácter del modo no transparente precedido por un carácter común de "escape" del protocolo (DLE - **Data Link Escape**) y los datos se transmiten tal y como los entrega la capa superior, salvo los caracteres eventuales que coincidan con el de escape DLE, que también se duplican. De forma que en recepción, al llegar un DLE se espera la llegada del siguiente, si es otro DLE se elimina uno de ellos y el otro se entrega como dato a la capa superior. Si es un carácter de control se interpreta como

					b ₇	0	0	0	0	1	1	1	1
					b ₆	0	0	1	1	0	0	1	1
					b ₅	0	1	0	1	0	1	0	1
b ₄	b ₃	b ₂	b ₁		0	1	2	3	4	5	6	7	
0	0	0	0	0	NUL	TC7 (DLE)	SP	0	@	P		p	
0	0	0	1	1	TC1 (SOH)	DC1	!	1	A	Q	a	q	
0	0	1	0	2	TC2 (STX)	DC2	"	2	B	R	b	r	
0	0	1	1	3	TC3 (ETX)	DC3	#	3	C	S	c	s	
0	1	0	0	4	TC4 (EOT)	DC4	O	4	D	T	d	t	
0	1	0	1	5	TC5 (ENQ)	TC8 (NAK)	%	5	E	U	e	u	
0	1	1	0	6	TC6 (ACK)	TC9 (SYN)	&	6	F	V	f	v	
0	1	1	1	7	BEL	TC10 (ETB)	'	7	G	W	g	w	
1	0	0	0	8	FE0 (BS)	CAN	(	8	H	X	h	x	
1	0	0	1	9	FE1 (HT)	EM	)	9	I	Y	i	y	
1	0	1	0	10	FE2 (LF)	SUB	*	:	J	Z	j	z	
1	0	1	1	11	FE3 (VT)	ESC	+	;	K	[	k	{	
1	1	0	0	12	FE4 (FF)	IS4 (FS)	,	<	L	\	l	|	
1	1	0	1	13	FE5 (GR)	IS3 (GS)	-	=	M	]	m	}	
1	1	1	0	14	SO	IS2 (RS)	.	>	N	^	n	~	
1	1	1	1	15	SI	IS1 (US)	/	?	O	_	o	DEL	

FIGURA 32. Alfabeto CCITT no. 5 (ASCII).

tal y se ejecuta la acción pertinente. Si el caracter de control recibido no va precedido de DLE se interpreta como dato de la capa superior.

Un inconveniente de los protocolos que utilizan este tipo de tramas es que son multiformato, es decir, varía el formato de las tramas según sean de control o información, lo que complica la realización de los protocolos.

Principio y cuenta.

Como mejora al tipo anterior, el fabricante Digital utiliza un protocolo, que también tiene un carácter de principio de trama, (PDT), seguido de un campo de encabezado de longitud fija, y otro de datos de longitud variable, pero especificada en el encabezado como un subcampo (cuenta de octetos) que indica la longitud en octetos.

Las tramas son monoformato, variando el carácter de principio de trama, dependiendo si se trata de una trama conteniendo datos de la capa superior (SOH), o de una trama de control (ENQ), o de supervisión (DLE). Los bits de control del protocolo forman el resto del encabezado de la trama.

Bandera.

El mecanismo de cuenta de octetos es intrínsecamente transparente, en el supuesto de que la capa superior entrega la información mediante caracteres o palabras cuya longitud sea múltiplo de ocho bits. Para independizar totalmente al protocolo de la estructura de la información se han desarrollado los protocolos orientados a bit (HDLC de ISO, SDLC de IBM, UDLC de UNISYS, entre otros). Estos utilizan tramas monoformato con un único tipo de delimitador denominado "guión" o "bandera" para indicar principio o fin de la trama y un sencillo mecanismo de transparencia.

La bandera utilizada en esos protocolos es una cadena de seis "unos" flanqueados por dos "ceros": **01111110**, y es detectado en recepción tras contar seis "unos" consecutivos.

Por lo tanto, el mecanismo de transparencia debe impedir que aparezcan más de cinco "unos" consecutivos, tanto en el campo de datos de la trama como en el de control, como en el de redundancia, pues su presencia causaría una detección anómala de trama.

La solución adoptada es la siguiente: en el transmisor se explora la secuencia de bits a transmitir (excluyendo las banderas) y cada vez que se cuentan cinco bits sucesivos se "inserta" un cero adicional. En recepción, después de detectar la bandera que abre la trama se explora la secuencia de bits recibidos y cada vez que se cuentan cinco unos consecutivos se analiza el siguiente bit. Si es cero, se elimina, si es uno, se detecta el final de la trama.

Coordinación de la Comunicación: Contienda, Sondeo, Selección.

En la capa de enlace pueden comunicarse dos o más interlocutores, a través del medio físico y se presentan problemas si no se determina quien tiene el turno; en los protocolos de comunicación se diferencian tres fases:

a) Establecimiento, en la que se determina la disponibilidad de los interlocutores y se efectúan las eventuales selecciones y negociaciones de los parámetros del protocolo.

b) Transferencia de información, con procedimientos que aseguran la correcta entrega de los datos.

c) Terminación, mediante la que se da por finalizada la comunicación.

En la capa de enlace existen dos métodos básicos de coordinación de la comunicación:

1) Centralizado.

2) Contienda.

En el centralizado existe un controlador o moderador que da el turno de transmisión a los demás interlocutores.

En el método de coordinación de comunicación denominado como contienda, no existe moderador y los interlocutores no necesitan autorización de otro para empezar a transmitir, motivando problemas de colisión si dos o más transmiten al mismo tiempo, debiendo articularse procedimientos de recuperación de las colisiones.

La coordinación centralizada en un controlador es típica de los primeros sistemas teleinformáticos, donde un grupo de terminales accede a un recurso central que tiene además las funciones de moderador, y la comunicación se desarrolla entre el recurso central y las terminales, sin que exista comunicación directa entre terminales, como se ilustra en la figura 33.

En función del sentido del flujo de información los procedimientos se denominan:

- Sondeo (**Polling**). Flujo de terminal a controlador.
- Selección (**Select**). Flujo de controlador a terminal.

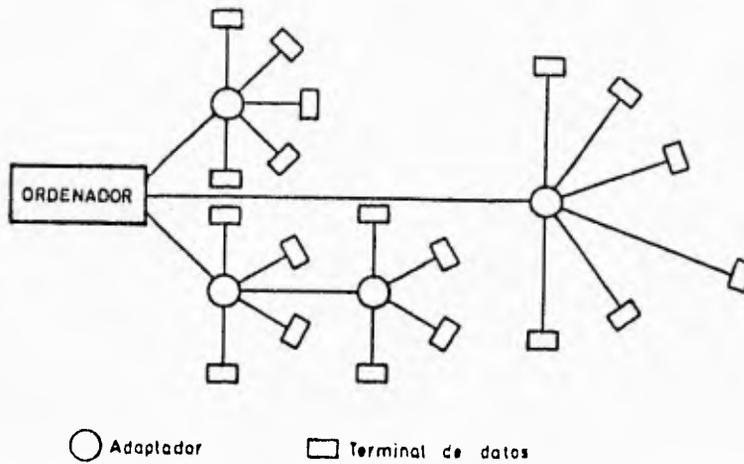


FIGURA 33. Red de acceso múltiple. Circuito multipunto.

Selección.

Cuando un controlador desea enviar información a una terminal, la selecciona mediante un mensaje de control, y la terminal responde si está lista o no para recibirlo. En la figura 34.a) se ilustra el procedimiento mediante un protocolo orientado a caracter.

Supongamos por ejemplo que la terminal A está preparada para recibir; B no lo está. El mensaje de selección se compone de la dirección de selección de terminal y el caracter de petición (ENQ). La terminal A acepta la selección con ACK, mientras que B la rechaza con NACK.

Sondeo por lista.

El sondeo por lista, es la forma clásica de sondeo. El controlador "pasa lista" a cada una de las terminales, preguntándoles si tienen información para transmitir mediante un mensaje de sondeo con el código de dirección correspondiente a la terminal. Si éste tiene algún mensaje preparado, lo transmite; en caso contrario, rechaza la invitación a transmitir y el controlador pasa a sondear la siguiente terminal de la lista.

La figura 34.b) ilustra el procedimiento mediante un protocolo orientado a caracter. El mensaje de sondeo está formado por la dirección de la terminal seguida por el caracter de petición ENQ; el caracter EOT se utiliza como rechazo del sondeo. Las fases de la comunicación se desarrollan según se indica en la selección, salvo que ahora se envían mensajes de sondeo en vez de selección.

Sondeo con prueba.

Cuando la actividad de las terminales es baja y su número es elevado, el controlador desperdicia mucho tiempo en sondear a terminales que casi nunca tienen nada. Una alternativa más eficiente, en esas circunstancias, es el sondeo con prueba, que consiste en agrupar a las terminales en diferentes grupos, de modo que cada terminal reconoce dos direcciones: una individual y otra de grupo. Al reconocer la terminal su dirección de grupo, si tiene información pendiente transmite una indicación; en caso contrario permanece en silencio.

El controlador, al sondear un grupo, envía su dirección global; si alguna terminal tiene información activará la línea y entonces el controlador efectúa un sondeo individualizado dentro del grupo; de no ser así, implica que ninguna terminal tiene información y la línea permanece inactiva, lo que hace que el controlador pase a sondear al siguiente grupo.

Sondeo circular.

El sondeo circular (**Hub Polling**), consiste en empezar el ciclo de sondeo enviando un mensaje de sondeo a una terminal y una vez terminado, envía a la siguiente terminal repitiendo el proceso hasta que la última terminal envía un mensaje de sondeo al controlador. La figura 35 ilustra el sondeo circular en una red en anillo y en una red multipunto.

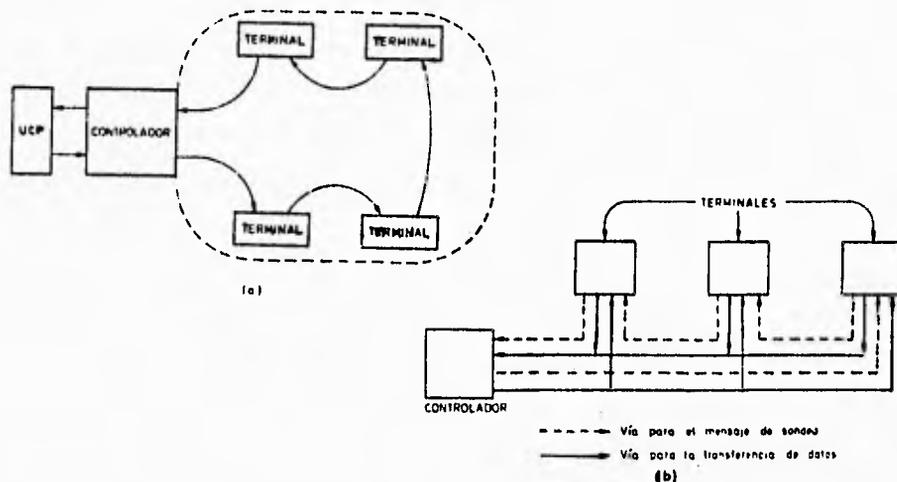


FIGURA 35. Sondeo circular: a) Red en circuito simplex, b) Red Multipunto.

Contienda.

En otros sistemas no existe un moderador que conceda la palabra ni se utiliza un testigo con el mismo fin. En esta solución los interlocutores pueden acceder en cualquier momento al circuito. Si dos o más de ellos tratan de transmitir al mismo tiempo, pueden presentarse conflictos al competir en una contienda por posesionarse del circuito.

La característica básica de estos conflictos es que un transmisor envía un mensaje y se queda esperando una respuesta que nunca llegará. Para evitar esta eventual situación de bloqueo se establecen plazos de espera (**Time Out**), de forma que si expira el plazo sin recibir respuesta, se retransmite el mensaje. No obstante, este mecanismo no basta para evitar bloqueos, pues si ambos retransmiten a la vez hay una nueva colisión.

Esta situación se resuelve de forma que, tras detectar el bloqueo (por ausencia de respuesta), no se efectúa la retransmisión hasta después de un plazo diferente para cada interlocutor (predeterminado, dando prioridad a alguno de los interlocutores, o bien obtenidos en su momento por generadores de números pseudoaleatorios), de forma de que quien tenga el plazo menor retransmitirá él primero, sin colisionar con los anteriores.

Recuperación de Fallas.

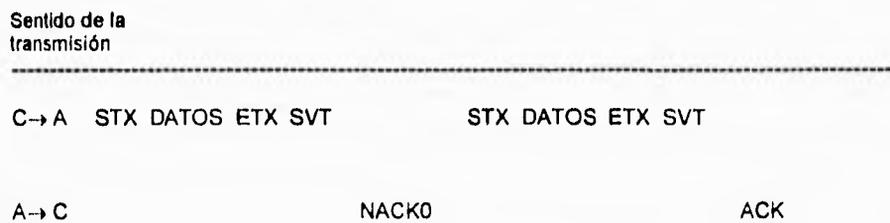
En un protocolo existen diversas situaciones en la que se está a la espera de un mensaje de respuesta (por ejemplo, la confirmación o el rechazo de una trama). Si esta respuesta no llega, ya sea por haber sido destruida por el ruido o por no haberse generado, se bloquea la comunicación. La ausencia de respuesta o de una inapropiada son casos típicos de los denominados falla de protocolo, es decir, situaciones anómalas, que deben ser previstas, así como la forma de reaccionar ante ellas, pues de lo contrario se permanece en un estado de bloqueo.

Para detectar la pérdida del carácter de fin de texto (ETX, ETB) se utiliza un plazo de recepción que se arranca al empezar a recibir una trama, el vencimiento de ese plazo sin haber llegado el CFT implica generalmente descartar la fracción de trama recibida

y ordenar al subnivel de sincronización de trama el reestablecimiento de sincronía de caracter.

Los mecanismos básicos utilizados para recuperación de fallas cuando se espera una respuesta son:

- a) Establecimiento de plazos de espera.
- b) Solicitud de una nueva respuesta, si vence el plazo.
- c) Limitación del número de intentos transcurridos, cuya falla se cataloga por irrecuperable (desde la capa de enlace), comunicándose tal circunstancia a la capa inmediata superior para que tome las medidas oportunas. En la figura 36.a) se ilustra, con un protocolo orientado a carácter, uno de estos procedimientos. La situación representada es la siguiente:



a) Rechazo de trama errónea y retransmisión

FIGURA 36. Recuperación de fallas.

---Plazo---

C→A STX DATOS ETX SVT ENQ STX DATOS ETX SVT

A→C NACK

b) Ausencia de respuesta

Sentido de la
transmisión

C→A STX DATOS ETX SVT STX DATOS ETX SVT

A→C ACK0 ACK1

c) Enlace multibloque. Confirmaciones alternadas

FIGURA 36. (Continuación) Recuperación de fallas.

C transmite una trama y espera su confirmación por parte de A; pero C no recibe la respuesta de A (ya sea por llegar con ruido o por no haber recibido la trama de C por estar alterado STX a causa del ruido, etc.). Al terminar de transmitir la trama, C arranca un plazo de espera que, una vez vencido, alerta sobre la anomalía. Como mecanismo de recuperación se podría pensar en retransmitir de nuevo la trama, pero si la falla se ha causado por pérdida de un ACK, esta solución duplica mensajes. Una solución más eficiente consiste en enviar una petición ENQ de retransmisión de la última confirmación. Esta solución es satisfactoria cuando el enlace es monobloque, es decir, el enlace se establece para transmitir una única trama de información y una vez que el destinatario ha confirmado su correcta recepción, se libera el enlace. Para enviar un nuevo bloque de información es preciso establecer de nuevo el enlace.

Pero si el enlace es multibloque hay que complementar la solución anterior. En efecto, sea una trama distinta de la que se pierde (por ejemplo la alteración de STX) y vencido el plazo se envía una petición ENQ. El destinatario que no ha recibido esa trama contesta con un ACK, indicando que la última trama recibida por él era correcta. Y en consecuencia el destinatario considera entregada a la trama perdida. La solución adoptada para evitar la falla consiste en usar - ver figura 36.b) - confirmaciones pares e impares (ACK0, ACK1; construidas con las parejas DLE 0 y DLE 1 respectivamente), sin necesidad de numerar las tramas de información. Con este mecanismo se detecta la pérdida de un mensaje o la confirmación de esto, sin dar posibilidad a confusiones.

Control de Flujo.

A menudo, en comunicación de datos, el ritmo de generación de información por un remitente es mucho mayor que el de consumo por el destinatario, por lo que es preciso frenar la fuente de información, por lo que se utilizan las técnicas denominadas de control de flujo.

En una interface paralela ese problema se resuelve con una línea de tipo "ocupado" (**busy**). En una comunicación serie se utilizan mensajes especializados en frenado brusco o ventanas de créditos para frenados suaves.

Al primer tipo responden las secuencias de control **WACK (Wait After ACK)** y la trama **RNR (Receiver Not Ready)**, utilizadas en protocolos orientados a carácter y a bit respectivamente. Son transmitidas por un destinatario cuando no puede seguir recibiendo información (momentáneamente) y tienen asociada además la confirmación de la última trama aceptada por el destinatario.

También puede considerarse una técnica de control de flujo denominada 'interrupción de inversión (**Reverse Interrupt**), utilizada en los protocolos orientados a carácter que se identifica con la secuencia de control RINT formada por el par de caracteres DEL <. Se envía por un destinatario, en lugar de una confirmación, para solicitar el fin prematuro de la fase de transferencia en curso e iniciar una nueva fase en que los papeles de destinatario y remitente se invierten, ésta interrupción facilita el envío de mensajes urgentes. El control de flujo con ventana tiene sentido con estrategias de envío continuo. Se denomina ventana al número máximo de tramas que en un determinado momento pueden estar pendientes de confirmación. Un remitente no puede desbordar a un destinatario sin su consentimiento; el mecanismo de ventana es más flexible que el frenado brusco, ya que una sobrecarga momentánea del destinatario no fuerza una parada brusca de la comunicación, y si la sobrecarga desaparece antes de agotarse los créditos, el remitente no se da por enterado.

Protocolos Orientados a Carácter.

La Organización Internacional de Estándares (ISO) empezó a estudiar los protocolos de enlace en 1962, trabajo que conduciría a la norma denominada Modo Básico, basada en el código normalizado de 7 bits. El desarrollo de esta norma duró unos ocho años.

La norma ISO 1745 o **Modo Básico** para la especificación del protocolo, cuya última versión es de 1975, junto con las normas de transparencia y otras complementarias, se usa con una representación similar a los diagramas sintácticos utilizados para especificar lenguajes de programación, mediante los cuales podemos seguir las secuencias permitidas. En la figura 37.a) y 37.c) se presentan las fases de establecimiento y terminación del enlace, tanto para sondeo como para selección. En la figura 37.b) se presenta la fase de transferencia de información.

Se denomina estación maestra a la que tiene el turno de transmisión de información en un período determinado, y estación esclava a la que recibe información y contesta con asentimientos.

La norma ANSI X3.28, denominada "**Procedimientos para el uso de caracteres de control ASCII para intercambio de información en enlaces de comunicaciones de datos**", es equivalente al modo básico y se promulgó en 1971, actualizándose en 1976. Efectúa una especificación más detallada que el Modo Básico, de ISO, mediante diagramas sintácticos particulares para diferentes versiones (enlace monobloque y multibloque, envío continuo, comunicación bidireccional simultánea) que constituyen diferentes grupos de protocolos denominados categorías.

El protocolo **Binary Synchronous Communication** de IBM, conocido popularmente como BSC, o Bisync, cuenta con versiones en ASCII, EBCDIC o Transcode (6 bits). Es un protocolo de control de terminales desde una estación central. Incorpora sondeo, control de flujo, interrupción inversa, enlace multibloque, (ACK0, ACK1) y modo transparente.

Las desventajas más notables de los protocolos orientados a bit son:

- Uso de tramas multiformato, que hace más complejo el diseño y dificulta la integración de controladores de hardware.
- Mensajes de control escasamente protegidos (sólo un bit de paridad por carácter).
- Dependencia del alfabeto utilizado (EBCDIC, CCITT no. 5).

- Transparencia conseguida a expensas de mecanismos poco eficientes que además son incompatibles con el modo no transparente.

Protocolos Orientados a Bit.

Los protocolos orientados a bit se conocen por una variedad de mnemónicos según la organización de normalización o de fabricante que soporta, aunque básicamente son idénticos, así tenemos HDLC (**H**igh **D**ata **L**ink **C**ontrol) de ISO, ADCCP (norma federal americana), LAPB (subconjunto de HDLC, para la recomendación X.25 del CCITT), SDLC (**S**ynchronous **D**ata **L**ink **C**ontrol) de IBM, UDLC de Unisys.

Uno de los fundamentos básicos de estos protocolos es la estructura de su trama, monoformato, con una bandera de apertura y cierre, y campos de significado posicional.

Estaciones, Modos y Configuraciones de Operación.

Para establecer la comunicación lógica entre estaciones se clasifican tres modelos diferentes de operación y tres tipos de estaciones; la figura 38 ilustra dos tipos de configuración en estaciones HDLC.

Los modos de operación son:

- a) Modo de respuesta normal (**NRM**), para uso en configuraciones centralizadas punto a punto y multipunto.
- b) Modo de respuesta asíncrona (**ARM**) utilizable también en configuraciones punto a punto o multipunto.

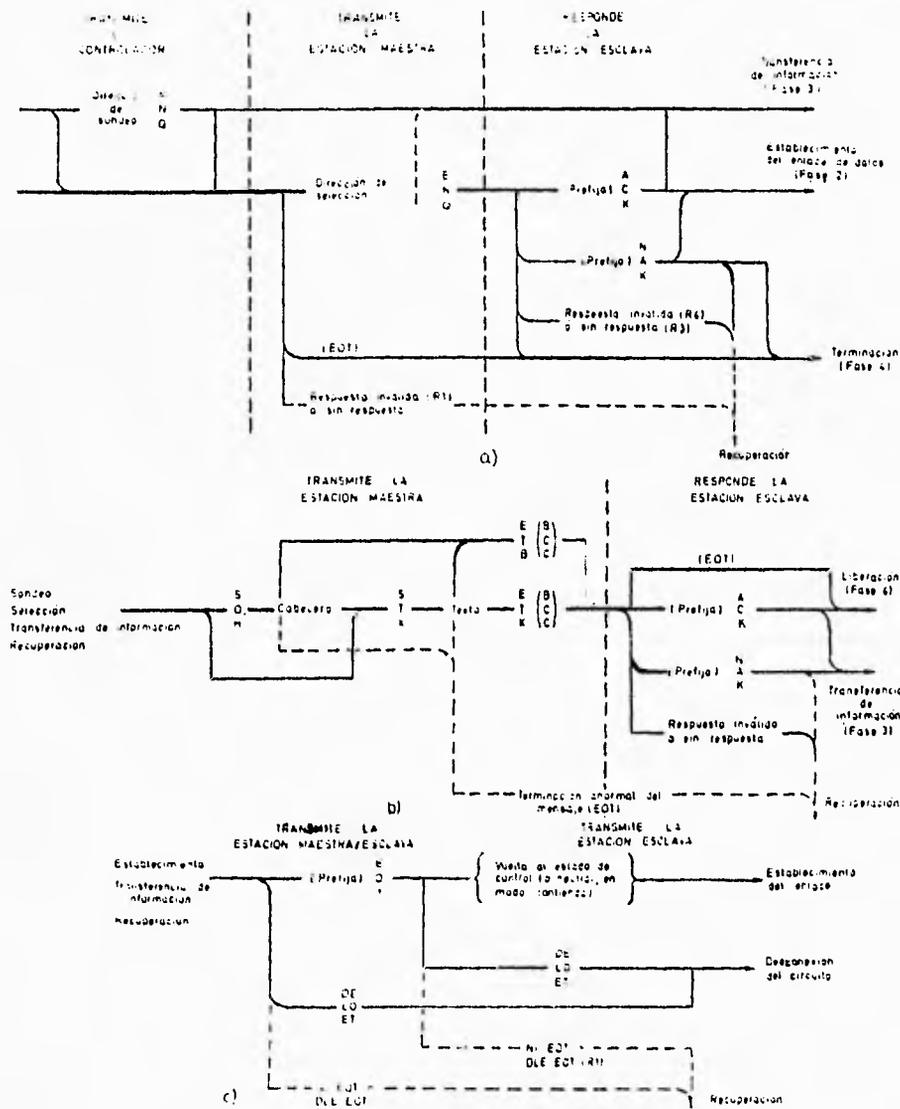


FIGURA 37. Diagrama sintáctico de Protocolos Orientados a Caracter
a) Fase de establecimiento de enlace
b) Fase de transferencia de información.
c) Fase de liberación de enlace.

- c) Modo de respuesta asíncrona equilibrado (ABM) exclusivo de configuraciones punto a punto.

Se denomina estación a cualquier posible interlocutor de la capa de enlace, los tres tipos de estación son:

- a) Estación principal (una por enlace, utilizable en los modos NRM y ARM).
- b) Estación secundaria (una o varias, utilizable en los modos NRM o ARM).
- c) Estación combinada (dos, específica del modo ABM).

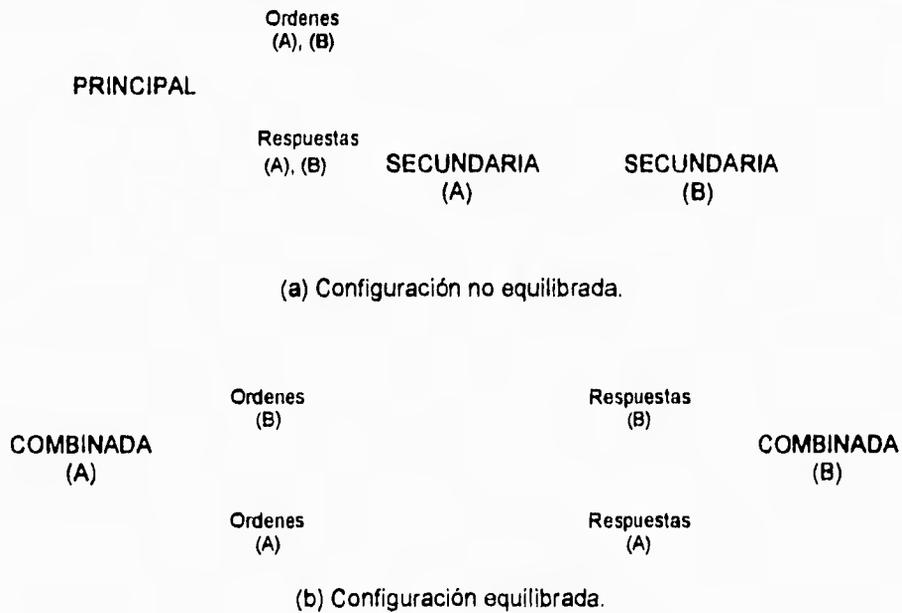


FIGURA 38. Estaciones HDLC.

Los modos de respuesta normal y asíncrona posibilitan la transferencia de datos entre estaciones diferentes lógicamente, trabajando en un entorno de control centralizado. En ambos modos, NRM y ARM, la misión de la estación principal es controlar el funcionamiento general del enlace, siendo la responsable de iniciar el enlace, activando a las secundarias y poniéndolas en el modo elegido, controlar el flujo de datos de y hacia las secundarias, activando los mecanismos de recuperación de fallas no corregibles mediante retransmisiones, y desconectando lógicamente a las secundarias cuando sea necesario. Las secundarias son subsidiarias de la principal y su papel es generalmente pasivo teniendo poca o nula capacidad para recuperarse de fallas del sistema.

Una estación principal genera órdenes y espera respuestas a ellas. Una estación secundaria recibe órdenes y genera respuestas de acuerdo con la naturaleza de las órdenes recibidas y del modo de operación elegido.

En el modo NRM una estación secundaria empieza a transmitir sólo tras recibir una orden explícita para hacerlo (sondeo) por parte de la principal; el fin de transmisión de la respuesta debe estar identificado. La trama transmitida contendrá eventualmente datos, dependiendo de su disponibilidad en la secundaria y del tipo de orden recibida. En el modo ARM una estación secundaria puede empezar a transmitir sin recibir permiso explícito para ello de la principal.

El modo de respuesta normal es el adecuado para sistemas multipunto con sondeo, donde se requiere una interacción ordenada entre un recurso central y un número de terminales de acceso. Por otra parte, el modo asíncrono de respuesta es más adecuado a situaciones donde una estación principal y una secundaria, previamente activada, desean intercambiar información libremente sin la sobrecarga de la disciplina

de sondeo; si el circuito es full duplex no existen colisiones entre las transmisiones de ambas estaciones; en cambio, si es half duplex, es preciso aplicar las soluciones típicas de la contienda. Cuando se usa el modo ARM en un entorno multiacceso, solo una estación secundaria puede estar activada a la vez; las demás secundarias deberán permanecer en modo desconectado para no interferir.

El modo asíncrono balanceado permite comunicarse a dos estaciones lógicamente iguales (del tipo combinado) en un entorno de control equilibrado (no centralizado). Ambas estaciones combinadas son capaces de establecer el enlace, y de terminarlo cuando sea necesario, cada una es responsable de controlar su propio flujo de datos y de recuperarse de sus propias fallas.

Además de los modos descritos correspondientes a transferencia de información, existen otros modos complementarios, que incluyen dos modos de desconexión y un modo opcional de iniciación.

En el modo opcional de iniciación, una estación principal o una combinada puede iniciar o regenerar el control del enlace con una secundaria o combinada; la forma concreta de efectuarlo es dependiente del sistema y no es objeto de normalización.

En ambos modos desconectados, las estaciones están lógicamente desconectadas del enlace. El modo normal de desconexión (NDM) se aplica exclusivamente a estaciones principales, y en él una estación secundaria no puede iniciar ninguna transmisión hasta ser explícitamente solicitada para ello por la principal, en cuyo caso la respuesta sólo puede ser una de un conjunto limitado, que acepta la orden, la rechaza, o solicita alguna acción alternativa por parte de la principal. El modo desconectado asíncrono (ADM) se aplica tanto a estaciones combinadas como principales y secundarias, y en

él la estación secundaria o combinada puede generar, de forma asíncrona, una respuesta particular solicitando una orden de puesta en un modo de transferencia de datos.

Estructura de la trama.

Los protocolos orientados a bit utilizan un formato único de la trama con los siguientes campos (ilustrados en la figura 39) :

- Bandera.
- Dirección.
- Control.
- Información.
- Redundancia.

El campo de información sólo está presente en las tramas que contienen información de la capa superior. La bandera está formada por la secuencia 01111110 cuyas funciones de delimitador de trama y los mecanismos de transparencia asociados se mencionaron anteriormente.

El campo de dirección identifica la estación (secundaria o combinada) que recibe o envía la trama. Las tramas de órdenes se envían siempre con la dirección de la destinataria. Las de respuesta se envían siempre con la dirección de la remitente. Por lo tanto, el campo de dirección identifica siempre a una estación secundaria en los modos NRM y ARM y a la fracción de una combinada, que genera las respuestas en el modo asíncrono equilibrado.

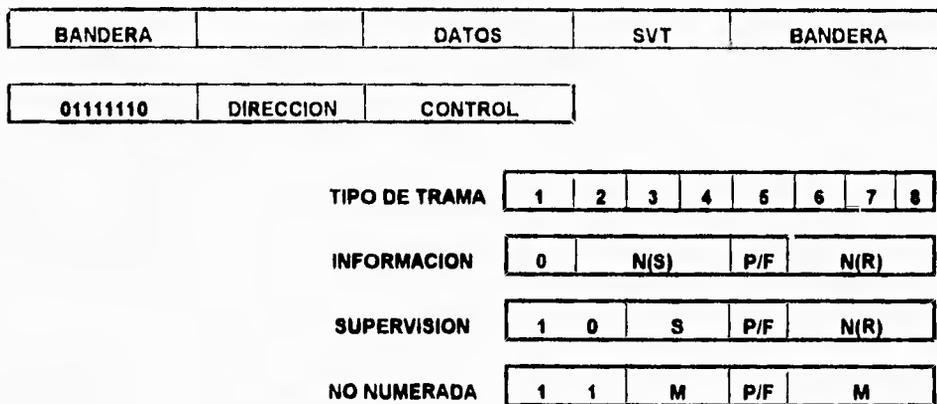


FIGURA 39. Trama HDLC.

Existen dos opciones mutuamente excluyentes para el campo de dirección: octeto simple y multiocteto; el octeto simple permite utilizar hasta 256 estaciones, la opción multiocteto permite direccionar más de 256 estaciones, utilizándose el primer bit de cada uno de los octetos para indicar si es el octeto final del campo de dirección. El octeto final debe llevar ese bit a uno y los octetos precedentes a cero.

El campo de control identifica el tipo de trama y su función concreta. Existen tres diferentes tipos de trama, indicadas en la figura 40, que son:

- a) De información.
- b) De supervisión.
- c) No numeradas

El primer bit del campo de control puesto a **cero** identifica las tramas de información, mientras que el primer bit puesto a **uno** y el segundo puesto a **cero** o a **uno** identifica a las tramas de supervisión y no numeradas, respectivamente.

Sólo las tramas de información contienen el "número de la trama", $N(S)$, puesto por el remitente y utilizado por los mecanismos de confirmación para identificar la trama.

Tanto las tramas de información como las de supervisión contienen el "número de la trama esperada", $N(R)$, puesto por el destinatario para confirmar la recepción de todas las tramas hasta la $N(R)-1$.

El campo de control descrito en la figura 39 puede ser ampliado con un octeto adicional, que permite extender la numeración a módulo 128, en vez de la básica de módulo 8. Cada estación mantiene las variables de estado $V(S)$ y $V(R)$. La variable $V(S)$ corresponde al número de la próxima trama a enviar, y puede tomar los valores entre 0 y $m-1$ (m , es el módulo 8 ó 128). El valor de $V(S)$ se incrementa en uno, módulo m , cada vez que se envía una nueva trama, pero no puede exceder la suma de $m-1$ más el valor de $N(R)$ de la última trama recibida, esto es, no pueden estar pendientes de confirmación más de $m-1$ tramas. En caso contrario pueden extraviarse tramas.

La variable $V(R)$ contiene el número de la próxima trama esperada en secuencia. Y puede tomar valores de 0 a $m-1$. Al transmitir una trama, el valor presente de $V(S)$ se traslada al subcampo $N(R)$ de la trama. El valor $V(R)$ se incrementa en uno cada vez que llega una trama correcta de información en secuencia, esto es, si el número de la trama, $N(S)$, coincide con $V(R)$.

Los dos bits S de las tramas de control sirven para identificar funciones de control de flujo y confirmaciones. Los cinco bits M de la trama no numerada se usan para especificar hasta 32 comandos y 32 respuestas, de las restantes funciones de control.

El bit P/F (**P**olling/**F**inal), tiene su origen en la aplicación primitiva de estos protocolos; circuitos multiacceso con sondeo y modo normal de respuesta, usándose a modo de testigo asociado al turno de transmisión. Una estación principal para sondear a una secundaria pone el bit P/F con valor de uno para indicar que una trama es la última dentro de un ciclo de sondeo. Se considera que el bit es P si la trama es una orden y que es F si la trama es una respuesta.

Todas las tramas contienen 16 bits de redundancia cíclica calculada utilizando el polinomio generador especificado en la recomendación V.41 del CCITT:

$$g(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$$

Las tramas en que se detecta error son descartadas para todos los efectos, es decir, es como si no hubiesen sido transmitidas.

Si un remitente desea finalizar prematuramente una transmisión en curso (por ejemplo, para efectuar una retransmisión en envío continuo y rechazo no selectivo) tiene dos opciones: o inserta una redundancia incorrecta, o utiliza una secuencia de trama abortada, constituida por la transmisión de al menos siete unos consecutivos (sin ceros insertados). Las tramas abortadas son ignoradas por el destinatario.

Por otra parte se utiliza una secuencia de al menos quince unos consecutivos para indicar que una estación pasa al estado de reposo. La recepción de la secuencia indica a la destinataria que la remitente cede su derecho a seguir transmitiendo; la reaparición de una bandera indica que la remitente abandona el estado de reposo.

Ordenes y Respuestas.

Las órdenes y respuestas se clasifican en función de las tramas que las transportan.

Ordenes y respuestas de información. Las tramas de información se utilizan para transmitir información numerada secuencialmente, y para confirmar su recepción por el destinatario.

Ordenes y respuestas de supervisión. Existen cuatro dadas por las combinaciones de los bits S de la trama. Y las cuatro pueden utilizarse en versión orden o respuesta, dependiendo de si son generadas por una estación principal o una secundaria respectivamente.

- **RR** Receptor Preparado. (Bits S=00). Se utiliza para indicar la disponibilidad de recepción de tramas, y para confirmación de las mismas, con el subcampo N(R).

- **RNR** Receptor No Preparado. (Bits S=01). Indican una imposibilidad transitoria de recepción de tramas. También incluyen la confirmación de éstas, con el subcampo N(R).

- **REJ** Rechazo. (Bits S=10). Utilizado para confirmar la recepción de las tramas anteriores a la N(R) y solicitar la retransmisión de la trama N(R) y posteriores.

- **SREJ** Rechazo Selectivo. (Bits S=11). Confirma la recepción de las tramas anteriores a la N(R) y solicita la retransmisión de la N(R), exclusivamente.

Ordenes y respuestas no numeradas.

La mayoría de la 64 posibilidades (5 bits M, más el bit P/F), están relacionadas con la elección del modo de operación o selección de características opcionales, de las cuales mencionaremos sólo las de uso más general.

- Ordenes de elección del modo de operación. Existe un grupo para establecer modos con numeración de tramas en módulo 8 y otro para establecer modos con numeración extendida módulo 128. En cada grupo existen tres órdenes, una para cada modo de operación:

1. **SNRM (SET RESPONSE NORMAL MODE).**
2. **SARM (SET ASYNCHRONOUS RESPONSE MODE).**
3. **SABM (SET ASYNCHRONOUS BALANCED MODE).**

Las anteriores corresponden al módulo 8, mientras que para el módulo 128 se tienen: **SNRME, SARME y SABME**, correspondientes a la numeración extendida.

- Orden de desconexión, **DISC**. Utilizado para abandonar el modo de operación en curso, entrando las estaciones en un modo de desconexión predeterminado por el sistema.
- Orden de reposición **RSET**. Pone a cero las variables de transmisión **V(S)**, y recepción **V(R)**, utilizadas respectivamente para generar el número de la trama **N(S)** y validar las confirmaciones dadas por el número de la trama esperada **N(R)**.
- Orden de sondeo no numerado **UP**. Autoriza a transmitir una trama a la estación receptora. No contiene campo de información.

- Orden/Respuesta de información no numerada **UI**. Permite transmitir tramas sin numerarlas. No está previsto efectuar confirmaciones. Si la trama es alterada por el ruido, se descarta y por tanto la información se pierde.
- Respuesta de modo de iniciación **RIM**. Solicita el envío de la orden de entrar en modo de iniciación **SIM**.
- Respuesta de confirmación no numerada **UA**. Confirma la recepción y ejecución de una orden de elección de los modos de iniciación, reposición o desconexión.
- Respuesta de modo desconectada **DM**. Solicita una orden de elección de modo, indicando la imposibilidad de entrar en el modo solicitado en ese momento.
- Respuesta de rechazo de trama **FRMR**. Indica que una trama recibida (orden o respuesta), tiene un error tal que no es recuperable con su retransmisión.

La respuesta **FRMR** contiene un campo de información con los siguientes campos: el de control de la trama rechazada; el de las variables **V(S)** y **V(R)** de la estación que origina la respuesta **FRMR**; y el de cuatro bits: **W,X,Y,Z** que, puestos a uno, indican las anomalías detectadas.

W indica que se ha recibido o una trama inválida o una trama HDLC perteneciente a un subconjunto no soportado por la estación.

X indica que la trama contenía un campo de información, pero el tipo de trama recibida no lo debe llevar.

Y indica que se ha recibido una trama excesivamente larga, es decir, con longitud mayor que la soportada por la estación.

Z indica que N(R) confirmó la recepción de tramas que no han sido transmitidas.

Si la causa del rechazo es diferente de las mencionadas, los cuatro bits se ponen a cero.

Clases de procedimientos.

Los elementos del procedimiento permiten una gran cantidad de combinaciones que dan lugar a versiones diferentes, con objeto de disponer de una estructura que permita construir y definir de una forma ordenada las diferentes opciones que especifican las denominadas clases de procedimientos, las que consisten en la definición de un conjunto básico de órdenes y respuestas a utilizar en cada uno de los modos operativos de transferencia de datos, que puede ser ampliado (o restringido) opcionalmente con la inclusión (o exclusión) de ciertas órdenes o respuestas.

En la figura 40 se muestra la estructura de las clases de procedimientos, es decir, si se tiene la opción 7 esto implica el uso de direccionamiento multi-octeto, y las opciones 8 y 9 restringen el uso de las tramas de información a órdenes y respuestas, respectivamente. La notación empleada para identificar una clase consiste en utilizar el mnemónico de la clase básica, acompañado de las opciones utilizadas.

Por ejemplo, la clase UN,3,4 representa un protocolo con modo de respuesta normal, con rechazo selectivo (SREJ) y la posibilidad de utilizar tramas no numeradas (UI).

En cambio, la clase BA,2,8 representa el modo equilibrado de respuesta asíncrona con la opción de rechazo simple (REJ) y la restricción de usar las tramas de información como órdenes exclusivamente.

El nivel 2 de la interface de acceso a redes de conmutación de paquetes, definido por la recomendación X.25 del CCITT denominado LAPB, es la clase BA, 2,8.

PROTOCOLO X.25

Recomendación X.25 del CCITT

Interface entre el equipo terminal de datos (DTE) y el equipo terminal del circuito de datos (DCE) para terminales que operan en el modo de paquetes de datos sobre redes públicas de datos.

X.25 es la especificación que define los protocolos de las tres capas inferiores del modelo OSI (capa física, de enlace y de red). A pesar de que la recomendación X.25, editada por el CCITT en 1976, fue muy anticipada a la aprobación del modelo de referencia OSI, gracias a su modalidad, el trabajo hecho por CCITT sobre X.25 pudo ser fácilmente incorporado dentro del modelo OSI.

<u>REPERTORIO BASICO NO EQUILIBRADO</u>		<u>REPERTORIO BASICO EQUILIBRADO</u>	
UA	UN	BA	
PRINC.	SECUN.	PRINC.	SECUN.
ORD.	RESP.	ORD.	RESP.
I	I	I	I
RR	RR	RR	RR
RNR	RNR	RNR	RNR
	UA		UA
SARM	DM	SNRM	DM
DISC	FRMR	DISC	FRMR

ESTACION COMBINADA	
PRINC.	SECUN.
I	I
RR	RR
RNR	RNR
SABM	UA
DISC	DM
	FRMR

- | | |
|--|--|
| <p>1 PARA IDENTIFICACION Y PETICION DE DESCONEXION
XID-----AÑADIR-----XID, RD</p> <p>2 PARA RECHAZO SIMPLE
REJ-----AÑADIR-----REJ</p> <p>3 PARA RECHAZO SELECTIVO
SREJ-----AÑADIR-----SREJ</p> <p>4 PARA INFORMACION NO NUMERADA
UI-----AÑADIR-----UI</p> <p>5 PARA INICIACION
SIM-----AÑADIR-----RIM</p> <p>6 PARA SONDEO NO NUMERADO
UP-----AÑADIR</p> | <p>7 PARA DIRECCION MULTI-OCTETO
USAR FORMATO EXTENDIDO DE DIRECCION</p> <p>8 SIN RESPUESTAS I
QUITAR ----- I</p> <p>9 SIN ORDENES I
-----QUITAR</p> <p>10 PARA INFORMACION EXTENDIDA
USAR CAMPO EXTENDIDO DE CONTROL-----
SXXME EN VEZ DE SXXM</p> <p>11 PARA MODD RESET
RESET ----- AÑADIR</p> |
|--|--|

FIGURA 40. Clases de procedimientos HDLC.

Nivel Físico de X.25 (Nivel 1)

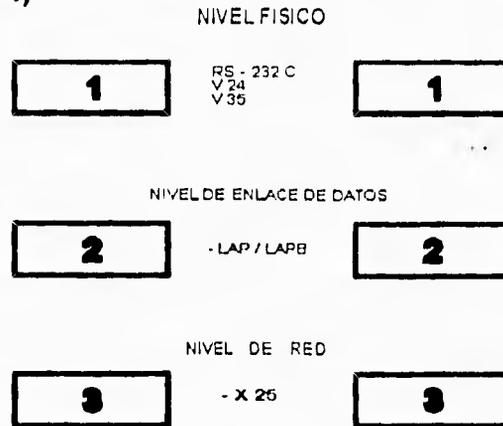


FIGURA 41. Capas inferiores del modelo OSI.

X.25 utiliza un protocolo síncrono para el nivel físico, permitiendo velocidades hasta de 19.2 Kbps, sobre líneas privadas analógicas. En las líneas privadas digitales, se permiten velocidades hasta de 64 Kbps y 2.048 Mbps.

El CCITT define las funciones, las características mecánicas, eléctricas y de procedimiento para activar, mantener y desactivar el enlace físico entre el DTE y el DCE, en su recomendación para la capa física X.25.

En otras palabras, la capa física es responsable de transmitir un flujo de bits de datos a través de algún medio. La capa física de X.25 no especifica el medio a utilizar, únicamente establece un conjunto de reglas que gobiernan la interface entre el DTE y el DCE.

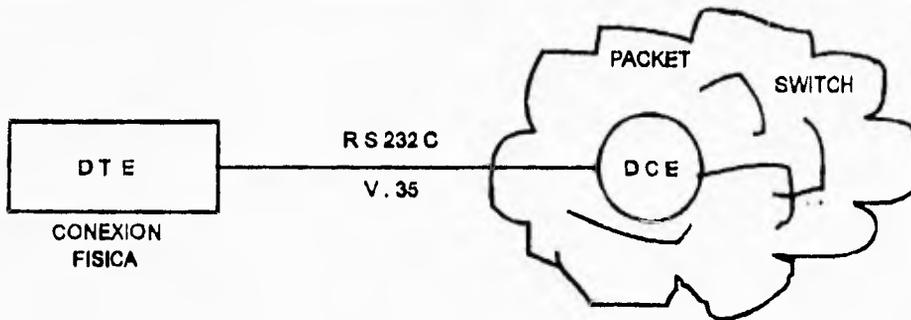


FIGURA 42. Nivel físico de X.25

En la recomendación X.25, el CCITT describe la capa física haciendo referencia a su recomendación X.21, con lo cual se anticipa el día en que las redes analógicas de conmutación de circuitos serán reemplazadas por redes digitales.

La recomendación X.21 es con respecto a la "interface entre el equipo terminal de datos y el equipo terminal del circuito para operaciones síncronas sobre redes públicas de datos".

X.21 tiene muchas características notables y su especificación actualmente describe funciones de conmutación de circuitos, sin embargo X.25 sólo utiliza las especificaciones para la interface física.

Nivel 2 de X.25 o Nivel de Trama

La recomendación para la capa de enlace de datos describe los procedimientos para intercambio de datos entre un DTE y un DCE. El objetivo de esta capa es asegurar un intercambio de información confiable y ordenado bajo cualquiera de los diferentes

condiciones que puedan afectar el enlace. Para el protocolo de control de enlace de X.25 estos procedimientos se pueden agrupar en tres categorías: inicialización/desconexión del enlace, control de errores y control de flujo.

Métodos de Comunicación.

En las transmisiones asíncronas, a cada caracter que es enviado se le agrega un bit de inicio y uno o más de paro. También se le puede agregar un bit de paridad con el fin de tener en poca medida un mecanismo de control de errores.

El control de flujo en transmisiones síncronas se puede llevar a cabo por dos métodos diferentes. Un método es utilizar señales fuera de banda, como son RTS/CTS y otro es usar señales dentro de la banda, como el protocolo Xon/Xoff.

Un refinamiento de los protocolos asíncronos, son los protocolos síncronos orientados a caracter. Este tipo de protocolos fueron desarrollados a mediados de la década de los 60's, siendo el más representativo, el protocolo BSC (**Binary-Synchronous-Communication**) de IBM.

Un mejoramiento a los protocolos asíncronos y síncronos orientados a caracter es el HDLC (**High-Level-Data-Link-Control**) de ISO.

Este protocolo está basado en el protocolo SDLC (**Synchronous Data Link Control**) que fue desarrollado también por IBM para reemplazar a su protocolo BSC.

SDLC y HDCL, a diferencia de sus predecesores son protocolos síncronos orientados a bit. El protocolo ADCCP (**Advanced Data Communications Control Procedure**)

de ANSI es otro protocolo contemporáneo orientado a bit. EL CCITT le llamó LAP (Link Access Protocol) a su propio enlace. Este protocolo está basado en HDLC.

Una de las ventajas de los protocolos orientados a bit es la reducción del número de caracteres necesarios para control, ya que cada bit en un caracter de 8 bits puede tener significado diferente.

Las tres funciones básicas de LAPB son:

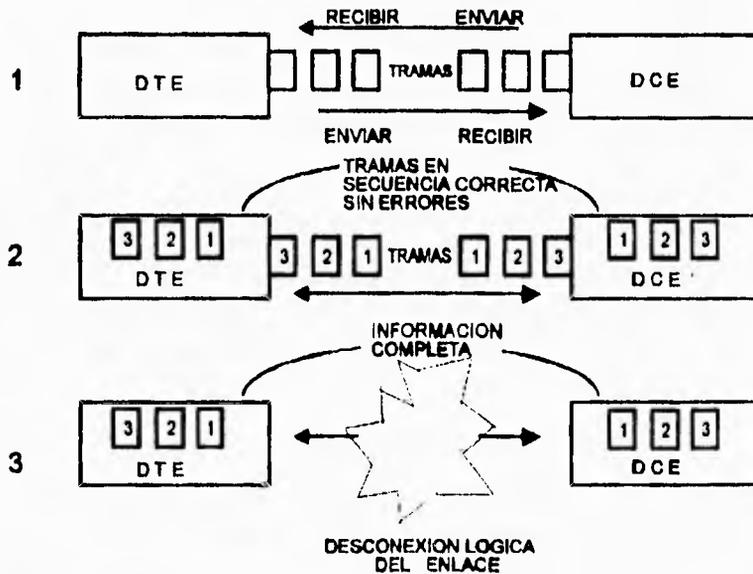


FIGURA 43. Funciones básicas de LAPB.

1. Establecer que tanto el DTE como el DCE pueden enviar y recibir tramas.
2. Transferencia de tramas que contienen información del usuario y se asegura de que las tramas lleguen en la secuencia correcta (es decir, libre de errores).
3. Desconexión del enlace, se asegura de que la información transferida esté completa y lógicamente desconectada del enlace.

Estructura de la Trama.

Una trama HDLC tiene la estructura mostrada a continuación:

Orden de transmisión de bits

12345678	12345678	12345678	16 a 1	12345678
BANDERA	DIRECCION	CONTROL	SVT	BANDERA
F	A	C	SVT	F
01111110	8 bits	8 bits	16 bits	01111110

FIGURA 44. Estructura de una trama HDLC.

En la figura 46 se muestra una trama X.25 desglosada completamente en cada uno de sus campos, la explicación de cada campo se describe a lo largo de este tema en su sección correspondiente dependiendo del nivel X.25 que se esté tratando.

12345678	12345678	12345678	16 a 1	12345678	
Bandera	Dirección	Control	Información	SVT	Bandera
F	A	C	I	SVT	F
01111110	8 bits	8 bits	n bits	16 bits	01111110

FIGURA 45. Formato de trama, funcionamiento básico.

12345678	12345678	12345678	16 a 1	12345678
BANDERA	DIRECCION	CONTROL	SVT	BANDERA
F	A	C	SVT	F
01111110	8 bits	8 bits	16 bits	01111110

FIGURA 46. Estructura de una trama X.25 desglosada.

Bandera.

Cada trama comienza y termina con un patrón de bits para determinar su inicio y su terminación. El patrón de bits es un cero seguido por seis ceros al final, es decir, 01111110. Cuando la línea se encuentra inactiva estas banderas son enviadas continuamente para llenar el tiempo entre tramas y mantener la sincronización entre el transmisor y el receptor.

Para que una trama sea válida, debe de tener por lo menos 32 bits entre sus banderas, las tramas inválidas son descartadas. Con el fin de optimizar la transmisión, una bandera puede utilizarse para identificar el final de una trama y el comienzo de otra.

Campo de Dirección.

Cuando el receptor detecta una bandera, busca en el flujo de datos un campo de 8 bits con la dirección. En HDLC y SDLC este campo es utilizado para líneas multipunto, soportando hasta 256 estaciones.

Como X.25 utiliza líneas punto a punto, el campo de dirección lo utiliza para separar comandos de referencia puesto y puede tener solo dos valores, 01(B) ó 03(A).

Campo de Control.

El campo de control identifica el tipo de trama y es usado para llevar los números de cada trama, recomendaciones, peticiones de transmisión y otra información de control. LAPB utiliza tres tipos distintos de tramas: tramas I de información, tramas S de supervisión y tramas U (*unnumbered*) no numeradas.

Formatos y Parámetros del Campo de Control LAPB.

Los diversos parámetros asociados a los formatos del campo de control se describen a continuación:

Módulo.

Cada trama I está numerada secuencialmente y su número puede adoptar un valor entre 0 y el del módulo menos uno (donde "modulo" es el módulo de los números secuenciales). El módulo es igual a 8 ó 128, y los números secuenciales adoptan cíclicamente todos los valores de la gama.

Variable en Estado de Emisión V(S)

La variable de estado en emisión indica el número secuencial de la siguiente trama I que debe transmitirse en la secuencia.

Puede adoptar un valor entre 0 y el módulo menos uno. El valor de la variable $V(S)$ se incrementa en una unidad con cada trama I transmitida, pero no puede exceder del $N(R)$ de la última trama de formato I o de supervisión recibida en un valor superior al número máximo (k) de tramas I pendientes. El valor de k se describe posteriormente.

Número Secuencial de Emisión $N(S)$.

Sólo tramas I contienen el $N(S)$, número secuencial en emisión de las tramas transmitidas. En el momento en que se designa una trama I que deba transmitirse en la secuencia, se pone el valor de $N(S)$ a un valor igual al de la variable de estado en emisión.

Variable de Estado en Recepción $V(R)$.

La variable de estado en recepción indica el número secuencial de la siguiente trama I que debe recibirse en la secuencia. Puede adoptar un valor entre 0 y el módulo menos uno. El valor de la variable de estado en recepción se incrementa en una unidad al recibirse en secuencia una trama I exenta de errores cuyo número secuencial en emisión $N(S)$ es igual a la variable de estado en recepción $V(R)$.

Número Secuencial en Repetición $N(R)$.

Todas las tramas I y S contienen el $N(R)$, que es el número secuencial provisto de la trama I siguiente recibida. Cuando se designa para transmitir una trama de los tipos indicados anteriormente, se pone el valor de $N(R)$ a un valor igual al valor vigente de la variable de estado en recepción $V(R)$. $N(R)$ indica que el DCE o el DTE que transmite el $N(R)$ ha recibido correctamente todas las tramas I con número secuencial menor o igual que $[N(R) - 1]$.

Bit de Petición/Final (P/F).

Todas las tramas contienen el bit P/F (bit de petición/final). En las tramas de instrucción, el bit P/F se denomina bit P. En las tramas de respuesta se denomina el bit F.

Funciones del Bit de Petición/Final.

El bit de petición puesto a 1 lo utiliza el DCE o el DTE para solicitar una respuesta del DTE o del DCE, respectivamente. El bit final puesto a 1 lo utiliza el DCE o el DTE para indicar la trama de respuesta transmitida por el DTE o el DCE, respectivamente, como resultado de una instrucción solicitante (petición).

Tramas de Datos.

Unicamente las tramas I transportan datos a través del enlace y son las únicas tramas que requieren números de secuencia. Los datos del usuario van contenidos en el campo de datos que sigue inmediatamente al campo de control en una trama I.

A cada trama I se le asigna un número de secuencia entre 0 y 7, en caso de utilizar una ventana con módulo 8. Un campo de 3 bits N(S) es usado para identificar estos números de secuencia y es incrementado en uno por cada trama que es enviada.

El receptor utiliza N(R) para indicar el número de secuencia de las tramas recibidas sin error.

Cada vez que una trama sin error es recibida, la variable N(R) se incrementa al número de secuencia de la próxima trama esperada.

Los reconocimientos de las tramas recibidas correctamente fluyen de regreso al transmisor dentro de las tramas enviadas por el receptor e indicadas en la cuenta del receptor N(R).

El bit P es el bit sensado (Poll). Este bit es utilizado por el transmisor para solicitar una respuesta inmediata. Cuando al receptor le llega una trama I con el bit P puesto a 1, contesta con una trama que no es de información y con el bit F (Final) puesto a 1.

El receptor siempre activa a 1 el bit F en su respuesta al comando enviado por el transmisor con el bit P en 1.

Formato de Transferencia de Información I.

El formato I se usa para realizar una transferencia de información. Las funciones de N(S), N(R) y P son independientes, esto es, cada trama I tiene un N(S), un N(R) que puede o no acusar recibo de tramas I adicionales recibidas por el DCE o el DTE, y un bit P que puede estar puesto a 0 ó a 1.

Tramas de Supervisión.

Las tramas de supervisión son utilizadas para transportar información de control, peticiones de retransmisión y reconocimientos de tramas I. El comando **Receive Ready (RR)** es usado por el DTE o el DCE para indicar la disposición de recibir una trama I.

Al presentarse una condición temporal de ocupado y la imposibilidad para aceptar más tramas I, es común enviar Receive Not Ready (RNR). El comando Reject (REJ) solicita la retransmisión de tramas I anteriores a N(R).

BANDERA	DIRECCION	CONTROL	CAMPO DE INFORMACION	SVT	BANDERA
01111110	8 bits	8 bits	longitud variable	16 bits	01111110

FORMATO	INSTRUCCIONES	RESPUESTA	CODIFICACION
			1 2 3 4 5 6 7 8
TRANFERENCIA DE INFORMACION	I	-----	0 N(S) P N(R)
SUPERVISION	RR	RR	1 000 P/F N(R)
	RNR	RNR	1 010 P/F N(R)
	REJ	REJ	1 001 P/F N(R)
NO NUMERADA	SABM	-----	1 111 P 100
	DISC	-----	1 100 P 010
		DM	1 111 F 000
		UA	1 100 F 110
		FRMR	1 110 F 001

FIGURA 47. Bits de control de diferentes tipos de tramas.

Formato de Supervisión S.

El formato S se utiliza para realizar funciones de control de supervisión del enlace, tales como el acuse de recibo de tramas I, la petición de retransmisión de tramas I y la petición de una suspensión temporal de la transmisión de tramas I.

Las funciones N(R) y P/F son independientes, es decir, cada trama de supervisión tiene un N(R) que puede o no acusar recibo de tramas I adicionales recibidas por el DCE o el DTE, y un bit P/F que puede ponerse a 0 ó a 1.

Tramas No Numeradas.

Las tramas no numeradas derivan su nombre del hecho de que ésta nunca transporta números de secuencia.

Las tramas U proveen funciones de control adicionales, tales como inicialización y desconexión del enlace, reiniciación del mismo después de que ha ocurrido un error irreparable y rechazo de tramas no válidas.

LAPB considera iguales al DTE y DCE, es decir, no hay una relación de maestro-esclavo, por lo tanto, cualquier extremo puede comenzar la inicialización del enlace enviando el comando **SABM (Set Asynchronous Balanced Mode)**.

La aceptación de SABM es confirmada por el otro extremo enviando una respuesta **UA (Unnumbered Acknowledgment)**. A partir de este momento, las tramas I pueden comenzar a fluir, los contadores N(S) y N(R) son inicializados siempre a ceros al establecerse el enlace.

Cualquiera de los dos extremos, el DTE o el DCE, pueden suspender la operación del enlace enviando un comando **DIS** (**disconnect**). Para reconocer la recepción del comando, el receptor debe enviar una respuesta **UA**. Cuando el transmisor recibe la respuesta **UA**, considera que el enlace ha quedado desconectado. Este procedimiento de desactivación asegura que no habrá pérdida de información al realizar la desconexión.

Los errores que no pueden ser corregidos con la retransmisión de otra trama idéntica, son indicados con una respuesta **FRMR** (**Frame Reject**). Esta respuesta incluye campos que indican la razón del rechazo de una trama en particular.

Entre las posibles razones de lo anterior, están la recepción de una trama no definida o una trama con números de secuencia no válidos, o campos de información que exceden los tamaños máximos establecidos.

Formato No Numerado U.

El formato no numerado **U** se utiliza para proporcionar funciones adicionales de control del enlace. Este formato no contiene números secuenciales, pero incluye un bit **P/F** que puede ponerse a 0 ó a 1. Las tramas no numeradas **U** tienen el campo de control de la misma longitud (un octeto) tanto para el funcionamiento básico (módulo 8) como para el funcionamiento ampliado (módulo 128).

Campos de Secuencia de Verificación de Trama SVT.

Una de las principales funciones del protocolo de la capa de enlace de datos es asegurar una transmisión libre de error. La mayoría de los circuitos físicos son susceptibles a errores inducidos por interferencia electromagnética.

HDLC utiliza una secuencia de verificación de trama **FCS (Frame Check Sequence)** para eliminar los errores de hasta 17 bits de longitud, logrando una probabilidad de menos de 1 en 10 bits.

Al final de la trama se coloca una bandera para completarla. Para el receptor, esta bandera de cierre le indica que los 16 bits anteriores deberán interpretarse como el campo de verificación.

Método de Relleno de Bits.

Ya que las banderas son usadas para indicar el comienzo y el final de una trama, un problema ocurre cuando el flujo de datos contiene por casualidad el mismo patrón de bits que el usado por las banderas. HDLC resuelve este problema por medio de una técnica conocida como bit de relleno (**stuffing**).

"El DCE o DTE cuando transmite, debe de examinar el contenido de la trama entre las dos banderas, incluyendo el campo de dirección, el campo de control, el campo de información y la secuencia de verificación e insertar un bit cero después de todas las secuencias de cinco bits con valor 1 continuos (incluyendo los últimos cinco bits del campo de verificación); para asegurar que no se incluya una secuencia de una bandera no deseada, el DTE o DCE, cuando recibe, debe examinar el contenido de la trama y remover cualquier cero que sigue a una secuencia de cinco bits".

La inserción y borrado de los ceros están implementadas normalmente en el hardware del transmisor y del receptor.

HDLC utiliza una secuencia de verificación de trama **FCS (Frame Check Sequence)** para eliminar los errores de hasta 17 bits de longitud, logrando una probabilidad de menos de 1 en 10 bits.

Al final de la trama se coloca una bandera para completarla. Para el receptor, esta bandera de cierre le indica que los 16 bits anteriores deberán interpretarse como el campo de verificación.

Método de Relleno de Bits.

Ya que las banderas son usadas para indicar el comienzo y el final de una trama, un problema ocurre cuando el flujo de datos contiene por casualidad el mismo patrón de bits que el usado por las banderas. HDLC resuelve este problema por medio de una técnica conocida como bit de relleno (**stuffing**).

"El DCE o DTE cuando transmite, debe de examinar el contenido de la trama entre las dos banderas, incluyendo el campo de dirección, el campo de control, el campo de información y la secuencia de verificación e insertar un bit cero después de todas las secuencias de cinco bits con valor 1 continuos (incluyendo los últimos cinco bits del campo de verificación); para asegurar que no se incluya una secuencia de una bandera no deseada, el DTE o DCE, cuando recibe, debe examinar el contenido de la trama y remover cualquier cero que sigue a una secuencia de cinco bits".

La inserción y borrado de los ceros están implementadas normalmente en el hardware del transmisor y del receptor.

01111110	A	C	...00111111011011111110....	SVC	01111110
----------	---	---	-----------------------------	-----	----------

unos cambiados
por ceros

01111110	A	C	...00111110011011111100....	SVC	01111110
----------	---	---	-----------------------------	-----	----------

FIGURA 48. Método de relleno de bits.

Instrucciones y Respuestas.

Tanto el DCE como el DTE admitirán las instrucciones y respuestas indicadas para funcionamiento del módulo 8.

- **Instrucción de Información**

La función de la trama de información I es transferir por un enlace los datos, una trama numerada secuencialmente que contiene un campo de información.

- **Instrucciones y respuesta preparada para recibir (RR)**

La trama de supervisión preparada para recibir (RR) la utilizan el DCE y el DTE para los siguientes casos:

1. Indicar que está preparado para recibir una trama I y
2. Avisar recibo de tramas I con número secuencias menor o igual que N(R) -1.

Puede utilizarse una trama RR para indicar la liberación de un estado ocupado comunicado mediante la transmisión previa de una trama RNR por la misma estación (DCE o DTE). Además de indicar el estado del DCE o del DTE, el DCE o el DTE

puede utilizar la instrucción RR con el bit P puesto a 1 para pedir que se le indique el estado del DTE o del DCE, respectivamente.

- Instrucción y Respuesta de Rechazo (REJ).

La trama de supervisión rechazo (REJ) la utilizan el DCE o el DTE para pedir la retransmisión de tramas I a partir de la trama numerada N(R); se acusa recibo de las tramas I con número secuencial menor o igual que $[N(R) - 1]$. Las nuevas tramas I pendientes de transmisión inicial pueden enviarse después de la trama I retransmitidas.

No puede establecerse más de una condición de excepción REJ en un sentido de transferencia de información en un instante de terminado. Se libera (reiniciación) la condición de excepción REJ al recibirse una trama I con un N(S) igual al N(R) de la trama REJ.

Puede usarse una trama para indicar la liberación de un estado de ocupado comunicándolo mediante la transmisión previa de una trama RNR por la estación (DCE o DTE). Además de indicar el estado del DCE o del DTE, el DCE o el DTE pueden utilizar la instrucción REJ con el bit P puesto a 1 para pedir que se le indique el estado del DTE o del DCE, respectivamente.

- Instrucción de paso al modo equilibrado asíncrono (SABM/instrucción de paso al modo equilibrado asíncrono - SABME -) (opción de la duración del abono).

La instrucción no numerada SABM se utiliza para hacer pasar del DCE o el DTE destinatario a la fase de transferencia de información en el modo equilibrado asíncrono

(ABM), en la que todos los campos de control de instrucción/respuesta tendrán la longitud de un octeto.

La instrucción no numerada SABME se utiliza para hacer pasar el DCE o el DTE destinatario a la fase de transferencia de información en el modo equilibrado asíncrono (ABM), en la que los campos numerados de control de instrucción/respuesta tendrán una longitud de dos octetos, y los campos no numerados de control de instrucción/respuesta tendrán la misma longitud de un octeto.

No se permiten campos de información en las instrucciones SABM o SABME. La transmisión de una instrucción SABM/SABME indica la liberación de un estado de ocupado mediante la transmisión previa de una trama RNR por la misma estación (DCE o DTE). El DTE o el DCE confirmará la aceptación de la instrucción SABM/SABME [funcionamiento básico (módulo 8)/funcionamiento ampliado (módulo 128)] mediante la transmisión en la primera oportunidad de una respuesta UA.

Cuando se acepta esta instrucción, se pone a 0 la variable de estado en recepción V(R) del DCE o del DTE.

Las tramas I previamente transmitidas de las que no se haya acusado recibo cuando se activa esta instrucción, quedan sin acuse de recibo. Incumbe a una capa superior la recuperación de las tramas I tras la eventual pérdida del contenido de las mismas.

NOTA: El modo de funcionamiento del enlace de datos - básico (módulo 8) o ampliado (módulo 128) - se determina en el momento de efectuar el abono y sólo se cambia en un nuevo proceso de abono.

Instrucción de Desconexión (DISC).

La instrucción no numerada DISC se usa para terminar el modo previamente establecido. Sirve para comunicar el DCE o DTE que recibe la DISC, que el DTE o DCE que ha transmitido la DISC suspende su funcionamiento.

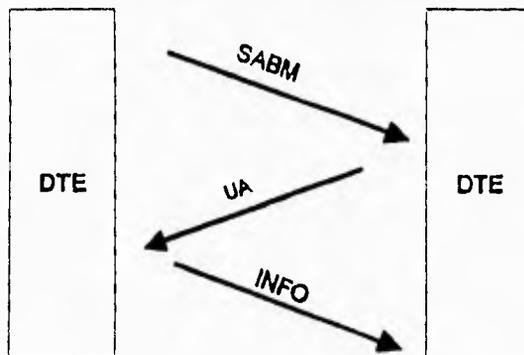
No se permite ningún cambio de información con la instrucción DISC. Antes de reactivarla el DCE o DTE que recibe la instrucción confirma la aceptación de la instrucción DISC transmitiendo una respuesta UA.

El DTE o el DCE que ha transmitido la instrucción DISC pasa a la fase de desconectado cuando recibe la respuesta de acuse de recibo no numerado (UA).

Las tramas l anteriormente transmitidas, de las que no se haya acusado recibo cuando se activa esta instrucción, quedan sin acuse de recibo. Incumbe a una capa superior la recuperación del contenido de tales tramas l, tras la eventual pérdida .

Respuesta Acuse de Recibo No Numerado (UA).

La respuesta no numerada UA la utilizan el DCE o el DTE para el acuse de recibo y para aceptar las instrucciones que establezcan el modo. Las instrucciones que fijan el modo recibidas no se activan mientras no se transmita la respuesta UA. La transmisión de una respuesta UA indica la liberación de un estado de ocupado comunicándolo mediante una transmisión previa de una trama RNR por la misma estación (DCE o DTE). No se permite ningún campo de información con la respuesta UA.



MEDIANTE LAS INSTRUCCIONES SABM Y UA

FIGURA 49. Inicialización del enlace a nivel dos de X.25 mediante las instrucciones SABM y UA.

Respuesta Modo Desconectado (DM).

La respuesta no numerada DM se utiliza para informar de un estado en el cual el DCE o el DTE está lógicamente desconectado del enlace y se halla en la fase de desconectado. La respuesta DM se envía para indicar que el DCE o el DTE ha pasado a dicha fase sin beneficiarse de la recepción de una Instrucción DISC, o si se envía como respuesta a la recepción de una instrucción que fija el modo, tiene por objeto informar al DTE o al DCE que el DCE o el DTE, respectivamente, se halla aún en la fase desconectado y no puede activar la instrucción que fije el modo. No se permite ningún campo de información con la respuesta DM.

Cuando un DCE o un DTE se halla en la fase de desconectado, controlará las instrucciones recibidas, reaccionará a una SABM/SABME y responderá con una

respuesta DM con el bit F puesto a 1 a cualquiera otra instrucción recibida con el bit P puesto a 1.

Respuesta a Rechazo de Trama (FRMR).

La respuesta no numerada FRMR la utilizan el DCE o el DTE para comunicar una condición de error no subsanable mediante la transmisión de una trama idéntica; es decir, por lo menos una de las siguientes condiciones resultan de la recepción de una trama inválida.

1. Recepción de un campo de control de instrucción o respuesta, no definido o no aplicado.
2. Recepción de una trama I con un campo de información cuya longitud excede de la máxima establecida.
3. Recepción de un N(R) no válido; o
4. Recepción de una trama con un campo de información no permitido, o la recepción de una trama de supervisión o no numerada de longitud incorrecta.

Un campo de control no definido o no empleado es cualquiera de las especificaciones del campo de control que no están identificadas.

Un N(R) válido debe estar comprendido entre el menor de los números secuenciales en emisión N(S) de la(s) trama(s) que todavía no ha(n) sido objeto de acuse de recibo, y el valor vigente de la variable de estado en emisión del DCE inclusive (o el

valor vigente de la variable interna), si el DCE se encuentra en el estado de recuperación por temporizador.

Con esta respuesta se devuelve un campo de información que sigue inmediatamente al campo de control y que consta de tres o cinco octetos [funcionamiento básico (módulo 8) o funcionamiento ampliado (módulo 128)], respectivamente, dando el motivo de la respuesta FRMR.

Indicación y Recuperación en Condiciones de Excepción.

A continuación se describen los procedimientos de recuperación en caso de error, aplicables para recuperar después de la detección/aparición de una condición de excepción en la capa de enlace de datos.

Las condiciones de excepción descritas son situaciones derivadas de errores de transmisión, del funcionamiento defectuoso del DCE o del DTE o de situaciones operacionales.

Condición de Ocupado.

Se produce la condición de ocupado cuando durante un cierto tiempo un DCE o un DTE no puede seguir recibiendo tramas I debido a restricciones internas, como por ejemplo la limitación de capacidad de las memorias en la recepción. En este caso se transmite desde el DCE o DTE ocupado, una trama RNR. Las tramas I pendientes de transmisión pueden transmitirse desde el DCE o el DTE ocupado antes o después de la trama RNR.

Una indicación de liberación del estado ocupado se comunica mediante la transmisión de una trama UA (solamente en respuesta a una instrucción SABM/SABME (módulo 8/módulo 128).

Condición de Error en el Número Secuencial N(S).

Se descartará el campo de información de todas las tramas I recibidas cuyo N/S no sea igual a la variable de estado en recepción V(R).

Se produce en el receptor una condición de excepción de error en la secuencia de N(S) cuando una trama I recibida contiene un N(S) que no es igual a la variable del estado en recepción del receptor. El receptor no acusa recibo (no incrementa su variable de estado en recepción) de la trama I responsable del error en el número secuencial, o de cualquier trama I que pudiera seguirla mientras no reciba una trama I con el N(S) corrector.

Un DCE o un DTE que reciba una o más tramas I válidas con errores en los números secuenciales o tramas de supervisión (RR, RNR y REJ) anteriores, aceptará la información de control contenido en el campo N(R) y el bit P o F para realizar las funciones de recibo de tramas I anteriormente transmitidas y para provocar que el DCE o el DTE respondan (un bit P puesto a 1).

Se dispondrá de los medios especificados en la recuperación por medio de REJ y en la recuperación por tiempo límite (o por temporizador), descritos a continuación para iniciar la retransmisión de tramas I pérdidas o erróneas después de la aparición de una condición de error en el número secuencial N(S).

Recuperación por Medio de REJ.

El DCE o el DTE receptor utiliza la trama REJ para indicar una recuperación (retransmisión) después de detectarse un error en el número secuencial N(S).

Respecto a cada sentido de retransmisión por el enlace de datos, en un momento dado solo se establece una condición de excepción (REJ transmitida) desde un DCE o un DTE hacia un DTE o un DCE. La condición de excepción REJ transmitida se libera cuando se recibe la trama I pérdida.

Cuando un DCE o un DTE recibe una trama REJ, inicia la transmisión (o retransmisión) secuencial de tramas I comenzando por la trama I indicada por el N(R) contenido en la trama REJ.

Las tramas retransmitidas puede contener un N(R) y un bit P que son una actualización de los contenidos en las tramas I transmitidos originalmente, y por lo tanto de los mismos.

Recuperación por Tiempo Límite (o por Temporizador).

Si un DCE o un DTE, debido a una error de transmisión, no recibe (o recibe y descarta) una trama I aislada o la(s) última(s) trama(s) I de una secuencia de tramas I, no detectará error en el número secuencial N(S) y por consiguiente, no transmitirá una trama REJ.

La(s) trama(s) retransmitida(s) puede(n) contener un N(R) y un bit P que son una actualización de los contenidos de las tramas I transmitidas originalmente y por lo tanto diferentes de los mismos.

Parámetros del Sistema de Enlace.

Temporizador T1: Cuando este tiempo expira se genera la retransmisión de una trama. Para que el procedimiento opere debidamente, el plazo de T1 del transmisor (DCE o DTE) debe ser mayor que el intervalo máximo entre la transmisión de tramas (SABM/SABME, DISC o instrucciones I de supervisión, o respuesta DM o FRMR), y la recepción de la trama (tramas UA, DM, o de acuse de recibos). En consecuencia, el receptor (DCE o DTE) no demorará la trama de respuesta o de acuse de recibo devuelta como consecuencia de las tramas anteriores por un cierto período superior a T2, donde T2 es otro temporizador.

Temporizador T2: El valor del parámetro T2 del DTE puede definir el valor del parámetro T2 del DCE. Estos valores serán los convenidos tanto para el DTE como para el DCE durante un período de tiempo conocidos por ambos.

El plazo del parámetro T2 indicará el lapso de tiempo de que dispone el DCE o el DTE antes de que deban desactivar la trama de acuse de recibo, a fin de asegurar su recepción por el DTE o el DCE, respectivamente. Antes de que el plazo del temporizador T1 expire en el DTE o en el DCE (parámetro T2 menor plazo del temporizador T1).

Dado el valor del plazo del tiempo T1 del DTE o del DCE, el valor del parámetro T2 en el DCE o en el DTE, respectivamente, no debe ser superior a T1 menos el tiempo de proceso de trama en el DCE menos el tiempo de proceso de trama en el DTE y menos el tiempo de transmisión de la trama de acuse de recibo por el DCE o el DTE respectivamente.

N1: El valor del parámetro N1 del DTE puede ser distinto del valor del parámetro del sistema N2 del DCE, estos valores serán convenidos para ambos durante un cierto período de tiempo y serán conocidos tanto por el DCE o por el DTE.

Es el número máximo de bits de una trama I (incluyendo banderas y los bits 0 insertados para transferencia) depende de la longitud máxima del campo de información.

Para permitir el funcionamiento universal, un DTE debe admitir un valor N1 del DTE que no sea inferior a 1080 bits (135 octetos). Los DTE's deben saber que la red puede transmitir paquetes de mayor longitud.

N2: El número máximo de retransmisiones de una trama después de expirar el período del temporizador T1.

k: Número máximo k de tramas I numeradas secuencialmente que se pueden tener pendientes (sin acuse de recibo en un estado determinado, no puede exceder de 7.

Nivel 3 de X.25 o Nivel Paquete.

La capa de red (o de paquete) es la más compleja de la recomendación X.25, gran parte de esta complejidad se debe a la flexibilidad y confiabilidad que por naturaleza debe tener un protocolo de este nivel.

El protocolo de la capa de red es la que provee a los usuarios el acceso a la red debido a que el nivel de paquete de X.25 es orientado a conexión, el establecimiento de una conexión es una función primordial de esta capa. Las conexiones se realizan como circuitos virtuales.

La capa de red de X.25 permite establecer varios circuitos virtuales sobre una misma conexión física. La técnica de multiplexaje utilizada por X.25 es del tipo estadístico por división de tiempo (STDM), en la cual el ancho de banda es asignado dinámicamente a los dispositivos activos de acuerdo a como lo soliciten. El multiplexaje estadístico, es ideal para ser utilizado en aplicaciones que requieren tráfico interactivo. Esto en contraste con el multiplexaje por división de tiempo convencional (TDM), el cual predefine el ancho de banda, asignando a todos los dispositivos ranuras de tiempo dentro de la trama, sin importar si se encuentran activos o no.

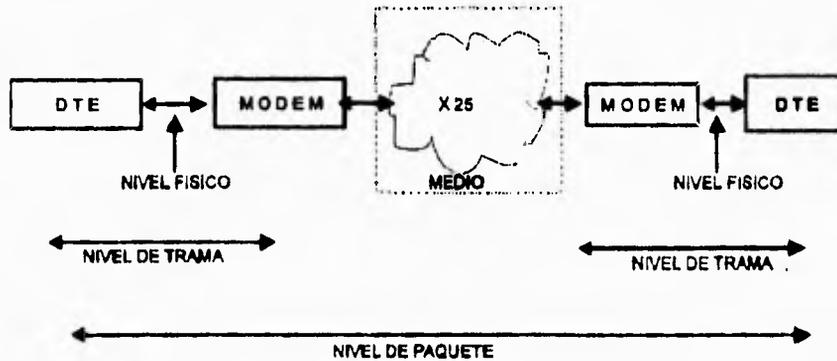


FIGURA 50. Enlace X.25 en sus tres niveles.

El enrutamiento de paquetes es otra de las funciones principales de la capa de red, así como también el control de flujo y la secuencia de los paquetes sobre cada circuito virtual. Además, esta capa provee los mecanismos para segmentación de paquetes que son demasiado grandes, con el fin de poder transportarlos sin problemas por todas las redes que intervengan en la trayectoria.

Esta capa debe proveer al nivel de transporte servicios tales como direccionamiento, establecimiento y liberación de conexión, transferencia de datos, control de flujo, etc.

Circuitos Virtuales y Canales Lógicos.

En la siguiente figura se muestra el establecimiento de un circuito virtual (SUC o PCV) a través de un conmutador de paquetes.

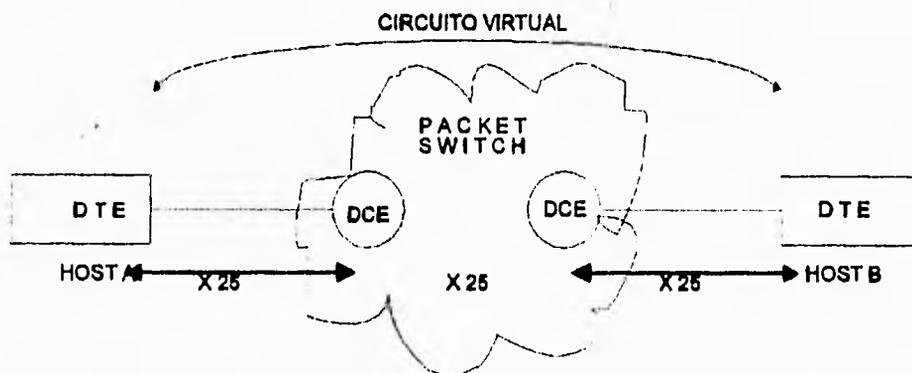


FIGURA 51. Circuito virtual entre dos DTE's

El nivel de red X.25 ofrece dos variedades de circuitos virtuales. La conexión temporal sobre la red entre dos DTE's es definida por el CCITT como una llamada virtual o circuito virtual conmutado (SVC). Los SVC son análogos a las conexiones telefónicas convencionales.

Para establecer una conexión SVC, se requieren tres fases separadas: el establecimiento de la llamada, la transferencia de los datos y la desconexión de la llamada.

Esta capa debe proveer al nivel de transporte servicios tales como direccionamiento, establecimiento y liberación de conexión, transferencia de datos, control de flujo, etc.

Circuitos Virtuales y Canales Lógicos.

En la siguiente figura se muestra el establecimiento de un circuito virtual (SUC o PCV) a través de un conmutador de paquetes.

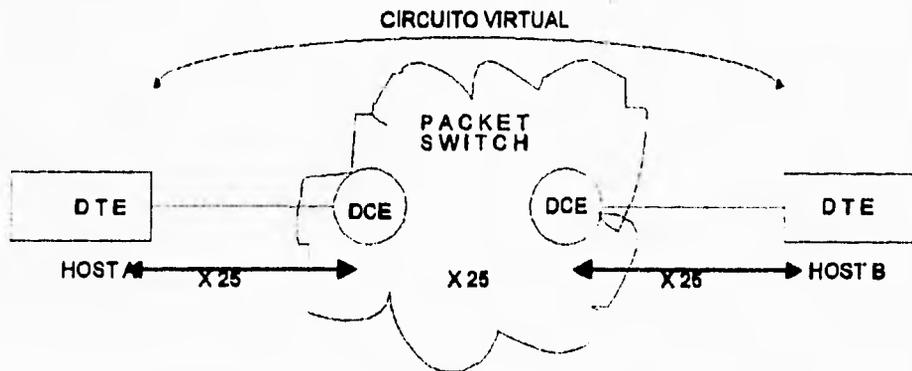


FIGURA 51. Circuito virtual entre dos DTE's

El nivel de red X.25 ofrece dos variedades de circuitos virtuales. La conexión temporal sobre la red entre dos DTE's es definida por el CCITT como una llamada virtual o circuito virtual conmutado (SVC). Los SVC son análogos a las conexiones telefónicas convencionales.

Para establecer una conexión SVC, se requieren tres fases separadas: el establecimiento de la llamada, la transferencia de los datos y la desconexión de la llamada.

Para las aplicaciones que requieren conexiones punto a punto a través de las líneas dedicadas, el X.25 soporta los circuitos virtuales permanentes (PVC's). A diferencia de los SVC's los PVC's tienen únicamente una fase: la transferencia de datos.

Los SVC's y PVC's se establecen por medio de canales lógicos numerados (LNC), que son asignados solo a través de la interface DTE/DCE en ambos extremos de la conexión.

X.25 tiene una técnica estructurada para asignar los LNC's de manera eficiente. Esto es crítico para los SVC's ya que cada llamada que se establece, obtiene un número de canal lógico en forma dinámica. En un enlace X.25 puede haber hasta 4096 canales lógicos diferentes.

El canal lógico cero, LNCO, no esta disponible para llamadas normales, debido a que esta reservado para ser utilizado en el control del enlace. La zona de circuitos virtuales permanentes comienza en el LNC1 y termina en un número predefinido LCNn. Después del último número de circuitos utilizado por los PVC's todos los LNC's que restan son usados por los SVC's. Si no hay PVC's definidos, entonces a partir del LNC1 están disponibles para los SVC's.

Dentro del grupo de circuitos SVC, existen tres subgrupos: los circuitos de entrada unidireccionales, los circuitos bidireccionales y los circuitos de salida unidireccionales.

Los datos fluyen de manera full-duplex, sin importar el tipo de circuito que se esté utilizando. La referencia para entrada y salida, se toma siempre a partir de los DTE's.

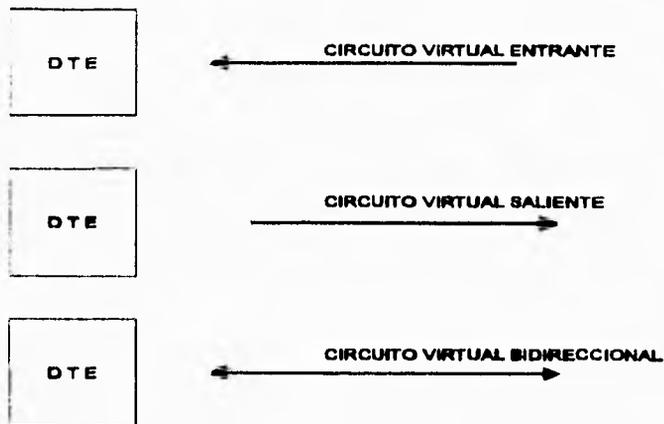


FIGURA 52. Tipos de circuitos virtuales conmutados

Los circuitos de entrada unidireccionales sólo permiten que los DTE's reciban llamadas de otros DTE's remotos, pero no pueden iniciarlas.

Los canales bidireccionales son la forma más común de circuitos virtuales, ya que estos circuitos tienen la habilidad de originar y recibir llamadas. Si no hay PVC's ni circuitos de entrada unidireccionales en uso, el LNC1 está disponible como el primer circuito bidireccional.

Los circuitos de salida unidireccionales sólo pueden originar llamadas, pero no pueden recibir las. Un algoritmo simple de búsqueda es usado para asignar dinámicamente los LNC's a los SVC's. Las llamadas que llegan de la red (DCE) utilizan el canal lógico con el número más pequeño que se encuentre disponible y las llamadas que salen del DTE utilizan el canal lógico con el número más grande que esté a su disposición.

Establecimiento de Llamada.

La fase del establecimiento de la conexión comienza con el envío de un paquete de petición de llamada por parte del DTE fuente, y termina con la recepción de paquete de comunicación establecida.

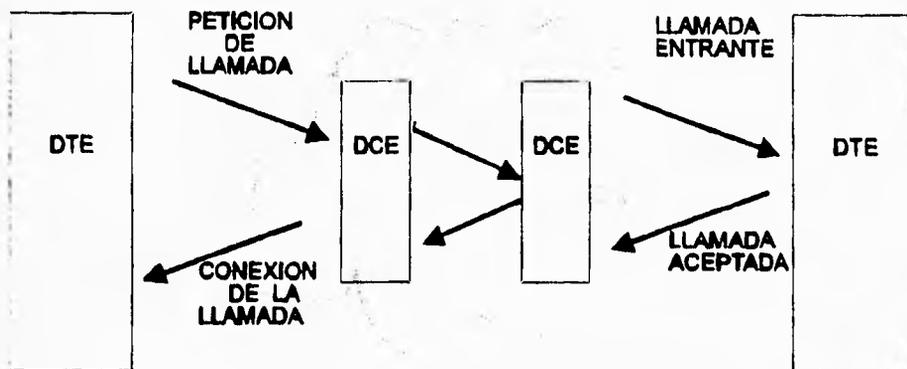


FIGURA 53. Establecimiento de la llamada a nivel tres de X.25

El paquete de petición de llamada contiene campos adicionales en la cabecera. En el cuarto octeto se tiene la longitud de la dirección del DTE que llama y del DTE llamado, estos campos están constituidos por 4 bits, cada indicador de longitud de dirección de DTE se modifica en forma binaria.

El campo de dirección ocupa el octeto 5 y siguientes, estos octetos contienen la dirección del DTE que llama y la dirección del DTE llamado. Ambas direcciones están codificadas en binario (BCD), utilizando 4 bits por dígito.

8	7	6	5	4	3	2	1
Identificador general de trama				Número de grupo de canales lógicos			
Número de canal lógico							
Identificador de tipo de paquete							
0	0	1	0	0	0	1	1

* Codificado 0001 (módulo 8) o 0010 (módulo 128)

FIGURA 54. Paquete de petición de llamada.

El campo de longitud de facilidades es el octeto que sigue a los campos de dirección e indica el número de campos de facilidades que siguen. Estos campos de facilidades son utilizadas para requerir a la red ciertas funciones específicas. Estas funciones varían entre red y red. Un ejemplo es el cobro revertido (collect calls), que es una facilidad que consiste en el cobro para organizaciones que poseen una gran cantidad de terminales remotas y que inicializan llamadas hacia un computador central. Si todas estas terminales siempre solicitan la facilidad de cobro revertido, la organización solo recibe un solo recibo en lugar de miles de ellos. El DTE que llama puede especificar también una longitud máxima de los paquetes y un tamaño de ventana determinado en lugar de los valores utilizados por omisión (128 bytes por paquete y ventana igual a 2).

Si el DTE llamado no acepta la propuesta puede mandar una contra respuesta en el campo de facilidades del paquete de llamada aceptada. Esta contra propuesta únicamente puede cambiar los valores inicialmente propuestos acercándolos a los valores por omisión, nunca los aleja.

Existe también la posibilidad de enviar datos en el campo de datos de usuario que sigue al campo de facilidades. Este campo permite al DTE enviar hasta 16 bytes de datos dentro del paquete de petición de llamada. Los DTE's deciden por si sólo que hacer con esta información. Puede ser usado, por ejemplo, para indicar con que proceso en el DTE llamado se quiere conectar el DTE llamante. Activamente puede contener un password.

Transferencia de Datos.

La fase de transferencia de datos de una llamada virtual puede comenzar una vez que el DTE que llama recibe un paquete de comunicación establecida.

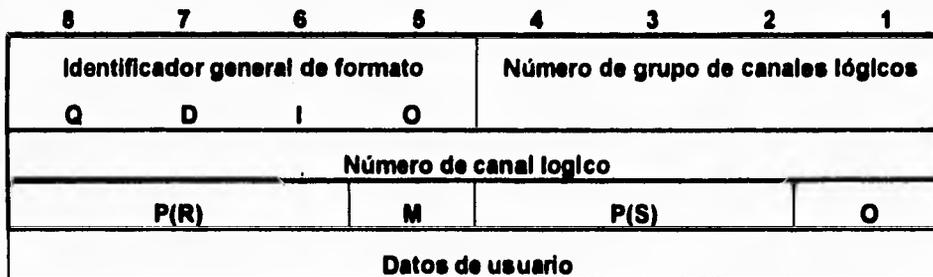


FIGURA 55. Paquete de datos.

El bit 1 del campo de control (octeto 3) siempre es cero en los paquetes de datos. Los campos de números de secuencia de transmisión y número de secuencia de recepción (piggyback) son utilizados para control de flujo y control de errores con ventana deslizante. El número de secuencia es módulo 8, si la parte de módulo en la trama es igual a 01 y módulo 128 si la parte de módulo en la trama es 10. Las combinaciones 00 y 11 no son válidas.

El significado del campo piggback es determinado por el valor del bit D. Si D=0, los reconocimientos subsecuentes indican que únicamente el DCE local recibió correctamente el paquete, no implica que el DTE remoto haya recibido, si el bit D=1, más bien que el DTE remoto recibió correctamente los datos.

El campo de more (bit M), permite al DTE indicar que un grupo de paquetes pertenece a un mismo mensaje. En un mensaje largo, todos los paquetes tendrán el bit de more puesto a 1, excepto el último. Solamente un paquete lleno podrá tener solo ese bit prendido. La subred es la encargada de agrupar diferentes paquetes y entregarlos como uno sólo, e inversamente, separar un mensaje en diversos paquetes.

Desconexión de una Llamada.

Para terminar una llamada virtual, el DTE únicamente tiene que enviar un paquete de petición de liberación. Una vez que este paquete es reconocido por un paquete de confirmación de liberación, la llamada se libera y el canal lógico que se estaba utilizando queda disponible para conexiones posteriores.

Implementación del Protocolo de Enlace.

Es importante que el programador tenga una visión global del funcionamiento de todas las capas de la recomendación X.25, ya que esto le permitirá resolver de manera adecuada los problemas que se le presenten al realizar la implementación.

Cuando se realiza la implementación de cualquier protocolo, se debe tener cuidado en hacerla de manera estructurada y flexible, con el fin de facilitar la corrección de posibles errores que hayan quedado, además de permitir que en su futuro se le puedan hacer las modificaciones necesarias para adaptarse a los cambios que se produzcan con las constantes revisiones que realizan las Organizaciones de

Estandarización a las recomendaciones. En el caso de la recomendación X.25, desde 1976, el CCITT ha publicado una nueva revisión cada 4 años y se espera que lo siga haciendo posteriormente.

La implementación que se desarrolló está apegada a la recomendación y trata de abarcar todas las posibles opciones en los puntos que se presenta ambigüedad, para que pueda funcionar con cualquier otra implementación.

Antes de realizar la implementación, se debe utilizar un método que permita tener una etapa intermedia entre lo que es la especificación y la implementación. Para realizar esto utilizaremos una tabla de estado que nos permita mapear directamente los diferentes estados y eventos.

Para la implementación del protocolo, se pretende tener la tabla de estados con apuntadores de función en cada una de sus localidades. De esta manera únicamente hay que ubicar en la tabla, la localidad adecuada del evento que se produjo y ejecutar esa función.

Este método de implementación es muy flexible, gracias a la construcción estructurada en que esta basada, por lo que es muy sencillo hacerle correcciones y modificaciones sin muchos problemas.

Para hacer alguna modificación en el protocolo sólo hay que cambiar la función involucrada y utilizar la tabla.

Tabla de Estados.

La tabla de estados es en realidad la parte fundamental en que se basa la implementación. Está formada por 15 renglones y 11 columnas.

Los renglones indican los posibles eventos y las columnas los posibles estados. Dentro de cada localidad, hay un apuntador a la función que debe ejecutarse cuando ocurre un evento dado, estando en un determinado estado.

Como el número de funciones es muy alto, el nombre que tiene cada una, está basado en la localidad que ocupa en la tabla.

Posibles eventos.

Not ready Indica que la capa de red tiene datos que enviar.

T2 Cuando expira este timer, se debe enviar un reconocimiento explícito al otro extremo. Esto sucede cuando se han recibido tramas, pero no se ha reconocido debido a que la capa de red no tiene datos que enviar. Por lo tanto no puede utilizarse el **piggback**

Expira T1 Cuando expira este timer, indica que no se ha recibido reconocimiento de la trama enviada por lo que deberá retransmitirse. Hay un parámetro 2 que define el número de veces que puede retransmitir una trama antes de abortar la conexión.

Local Call Este evento lo envía la capa de red para establecer una conexión.

Remote Call Cuando la capa de red quiere que sea el otro extremo quien de inicio a la conexión, envía este evento.

- Free Call** Este evento lo envía la capa de red para terminar una conexión.
- [1]** Indica que ha recibido una trama de datos.
- [RR]** Notifica que se ha recibido una trama de datos preparado para recibir.
- [REJ]** Nos hace saber que se ha recibido una trama de rechazo.
- [SABM]** Avisa que se ha recibido una trama de paso al modo equilibrado asíncrono.
- [DISC]** Hace de nuestro conocimiento que se ha recibido una trama de desconexión.
- [DM]** Indica que se ha recibido una trama de modo de desconectado.
- [UA]** Notifica que se ha recibido una trama de acuse de recibo no numerado.
- [FRMR]** Mediante ella nos enteramos de que se ha recibido una trama de rechazo de trama.
- [INDEF]** Avisa que se ha recibido una trama que no puede ser corregida con la transmisión de una trama idéntica.

Posibles Estados.**[DESCP]**

El enlace se encuentra desconectado y está listo para poder establecer una conexión. La conexión puede ser indicada localmente, por medio de un evento local 'LOCAL CALL' o 'REMOTE CALL' de la capa de red, o en respuesta a una petición <SABM & P> enviada por el otro extremo. Cuando la conexión se inicia en respuesta a un petición evento 'LOCAL CALL', se envía al otro extremo una trama <DIS&P> y se pasa al estado desconectado preparado 1 [DESCP1]. Si el evento 'REMOTE CALL' se le envía una trama <DM> para solicitarle al otro extremo que sea uno que de inicio a la conexión y pase al estado [DESCP2].

[DESCP1]

En este estado, se espera la confirmación a la trama <DISC&P> con una trama <UA&F>. Después de que llega la confirmación envía la solicitud de conexión con una trama <SABM&P> y se pasa al estado solicitud de conexión [SC].

[DESCP2]

En este estado se espera la llegada de una trama <SABM&P> del otro extremo en respuesta a la trama <DM> enviada. La trama <SABM&P> se confirma con una trama <UA&P> y se pasa al estado de conectado [CONNECT], para dar inicio al envío de datos.

[SC]

Cuando llega la trama <UA&F>, en respuesta a la trama <DISC&P> y se pasa al estado desconectado preparado [DESCP].

[CONECT]

En este evento se pueden enviar todos los datos de usuario. cuando se recibe un evento Free Call de la capa de red, se inicia la desconexión de la llamada. Para hacer esto, se envía una trama <DISC&P> y pasa al estado desconectado preparado [CD]. Cuando se recibe una trama <DISC&P>, se contesta con una trama <UA&F> y pasa al estado desconectado preparado [DESCP]. Si llena la ventana de transmisión con tramas que no han sido reconocidas se pasa al estado de espera de reconocimiento [WAIT_ACK].

Cuando se envía un <FRMR> en respuesta a una trama inválida se pasa al estado de rechazo de trama [FRMRREJ]. Si se recibe una trama l con un número de secuencia que no corresponda al esperado, se envía una trama <REJ&P> y se pasa al estado de rechazo [REJ].

[WAIT_ACK]

En este estado, se espera el reconocimiento de las tramas enviadas anteriormente. Las tramas sin reconocimiento pueden ser retransmitidas.

[FRMRREJ]

Se inicia el enlace, debido a una falla en el protocolo, ya que fue enviada una trama inválida.

[REJECT]

Se retransmiten las tramas a partir de un número de secuencia recibido en la trama <REJ&P>.

{SUB}

Este estado es el resultado de una colisión entre dos tramas <SABM>, como se trata de tramas idénticas se debe hacer al estado indicado (conectado) después de recibir una respuesta <UA&H> o en función del timer T1. Todos los otros posibles eventos son ignorados.

Descripción de la tabla de estados.

Notación:

- {Estado}** Una palabra entre [], define un posible estado, por ejemplo [CONNECT], significa que el estado es conectado.
- {Trama}** Una palabra entre { } indica el arribo de una trama por ejemplo, { 1 }, indica que se recibió una trama de datos.
- <Trama>** Una palabra entre < > indica que se tiene que enviar una trama, por ejemplo <DISC>, significa que se tiene que enviar una trama de solicitud de desconexión con el bit P igual a 1.
- 'Mensaje'** Una palabra entre ' ' , indica que se debe enviar un aviso a la capa de red.
- INI T1** Indica que el timer T1 debe ser reiniciado. Si estaba detenido se arranca, y si estaba corriendo sólo se reinicia.
- STOP T1** Se debe detener el timer T1.

F-Bit Checa si F=1 en una trama.

Mensajes para la capa de red

Error Es un mensaje que se le pasa a la capa de red, para avisarle que ocurrió un error. Estos errores no los puede resolver el protocolo.

NO CONNECT Se le avisa a la capa de red que no se puede establecer la conexión.

DISCONNECT Se le avisa a la capa de red que el enlace ha sido desconectado.

COLLISION Se le avisa a la capa de red que ocurrió una colisión entre dos tramas U.

DATA Cuando se recibe una trama de datos correcta, se pasan los datos a la capa de red.

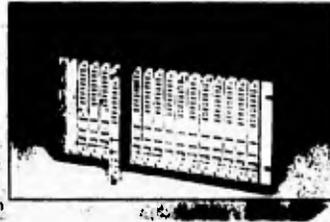
BUSY Se le pide a la capa de red que espere un momento, mientras se resuelve algún estado ocupado, por ejemplo que la ventana de transmisión se encuentre saturada con tramas no reconocidas.



ACTION Rack and Controller Card

ACTION Rack

The ACTION Rack is a front loading chassis that holds up to 16 ACTION 24, ACTION 32 Turbo, ACTION 32L, or ACTION 1496 modems in any combination as well as the ACTION Rack Controller Card. The ACTION Rack fits a standard 19" RETMA cabinet. All 16 ACTION modems and the ACTION Rack Controller Card are removable from the front of the chassis.



ACTION Rack Controller Card

The ACTION Rack Controller Card provides the user with access to all 16 modems within the ACTION Rack. The major functions that the ACTION Rack Controller Card provides are: Audio Monitoring, Modem Configuration and Control.

Features

- Front loading.
- Supports a mix of up to 16 modem cards: V.22bis (2400 bps), V.32 (9600 bps), V.32bis - Compatible (12,000 bps), and V.33 (14,400 bps)
- Fits into standard 19" cabinet
- Modems can be inserted or removed with power on
- Fully redundant power system with each card containing its own individual DC Supply
- Front panel configuration and control
- Audio monitoring of each modem
- Remote configuration and control
- Full diagnostics
- No failure interactivity between cards

TECHNICAL SPECIFICATIONS ACTION Rack and Controller Card

ACTION Modems

ACTION 24

Asynchronous
2-wire dial or lease
 V.23 - 75/1200 & 1200/75
 V.22bis - 2400 & 1200 bps
 212AV.22 - 1200 bps
 103/113 - 300 bps

Error Control - MNP 4
 Data Compression - MNP 5

Synchronous
2-wire dial or lease
 V.22bis - 2400 & 1200 bps
 212AV.22 - 1200 bps

ACTION 32 Turbo

Asynchronous
2-wire dial or lease
 V.32 - 12000, 9600, 7200 & 4800 bps
 V.22bis - 2400 & 1200 bps
 212AV.22 - 1200 bps
 103/113 - 300 bps

Error Control - MNP 4 & V.42 LAPM
 Data Compression - MNP 5
 Auto Fall Back and Auto Fall Forward

Synchronous
2-wire dial or lease
 V.32 - 12000, 9600, 7200 & 4800 bps
 V.22bis - 2400 & 1200 bps
 212AV.22 - 1200 bps

Auto Fall Back and Auto Fall Forward

ACTION 32L

Asynchronous
2-wire dial or lease
 V.32-12,000, 9600, 7200 & 4800 bps
 V.22bis-2400 & 1200 bps
 212AV.22-1200 bps

4-wire lease
 V.32 - 12,000, 9600, 7200 & 4800 bps
 V.23 - 1200/1200
 V.22bis - 2400 & 1200 bps

Error Control - MNP 4
 Data Compression - MNP 5
 Auto Dial Back Up and Auto Restore
 Auto Fall Back and Auto Fall Forward *

Synchronous
2-wire dial or lease
 V.32 - 12,000, 9600, 7200 & 4800 bps
 V.22bis - 2400 & 1200 bps
 212AV.22 - 1200 bps

4-wire lease
 V.32 - 12,000, 9600, 7200 & 4800 bps
 V.22bis - 2400 & 1200 bps

Auto Dial Back Up and Auto Restore
 Auto Fall Back and Auto Fall Forward

ACTION 1496

Asynchronous
2-wire dial or lease
 V.32 - 12,000, 9600, 7200 & 4800 bps
 V.22bis - 2400 & 1200 bps
 212AV.22 - 1200 bps

4-wire lease
 V.33 - 14,400, 12,000 & 9600 bps
 V.32 - 12,000, 9600, 7200 & 4800 bps
 V.29 - 9600, 7200 & 4800 bps
 V.22bis - 2400 & 1200 bps

Error Control - MNP 4
 Data Compression - MNP 5
 Auto Dial Back Up and Auto Restore
 Auto Fall Back and Auto Fall Forward

Synchronous
2-wire dial or lease
 V.32 - 12,000, 9600, 7200 & 4800 bps
 V.22bis - 2400 & 1200 bps
 212AV.22 - 1200 bps

Auto Dial Back Up and Auto Restore
 Auto Fall Back and Auto Fall Forward

4-wire lease
 V.33 - 14,400, 12,000 & 9600 bps
 V.32 - 12,000, 9600, 7200 & 4800 bps
 V.29 - 9600, 7200 & 4800 bps
 V.22bis - 2400 & 1200 bps

Rack Capacity 16 modems , 1 ACTION Rack Controller Card, any mixture of ACTION modems

Audio Monitor Speaker for use with Controller Card only

DTE Connectors Each slot has a DB25S (female) Serial EIA-RS232C/CITT V.24

Power Requirements 115 VAC or 230 VAC ±10%
 275 watts max

Physical Dimensions 19" wide; 16.5" deep;
 8.5" high

Telco Line Connectors *Dial lines*
 6 pin modular or
 50 pin (RJ21X type) connector
Leased Lines
 2 each 50 pin (RJ21X type) connector

Ordering Information	
Product	Model #
ACTION Rack	16-2401
ACTION Rack Controller Card	15-1624
ACTION 24 Rackmount Modem	24-1021R
ACTION 32L Rackmount Modem	24-1003LR
ACTION 32 Turbo Rackmount Modem	24-1003TR
ACTION 1496 Rackmount Modem	24-1004LR

DATA RACE
 11550 IH 10 West
 San Antonio, TX 78230
 (512) 558-1900 FAX (512) 558-1929

The Workstation Connectivity Company

ACTION is a trad. mark of DATA RACE, Inc. Copyright © 1990 by DATA RACE, INC. All rights reserved.

ACTION 32

The ACTION 32 is a front panel controlled, full duplex, V.32 (9600 bps) Trellis Coded Modulation, async or sync, 2 or 4 wire, dial or lease modem with Auto Dial Back Up and Auto Restore. The modem uses MNP 4 for error correction. MNP 5 is used for 2:1 data compression, increasing the effective throughput of data up to 19.2 Kbps. The ACTION 32 is CCITT V.22 bis and Hayes AT Command set compatible. Data rates on 2-wire dial or leased lines are 9600, 4800, and 2400 bps. On 4-wire lease lines, data rates are 9600, 4800, and 2400 bps with Auto Dial Back Up and Auto Restore. The modem also maximizes throughput using its Auto Fall Back and Auto Fall Forward feature. The Hayes AutoSync (HSI) feature is included for dial up sync applications from PC's. This feature allows the ACTION 32 to be used for IBM SNA/BSC 5250, 3270, 3770, 3780 terminal emulation at up to 9600 bps.



Features

- Functions as a full duplex sync or async V.32, or V.22 bis modem with MNP 4 for error correction and MNP 5 for 2:1 data compression.
- On 2-wire dial-up lines, runs at 9600, 4800, 2400, 1200 bps
- On 2 or 4-wire leased line, runs at 9600, 4800, 2400 bps with Auto-Dial Back Up and Auto Restore
- User selectable port settings such as bit rate, parity and flow control type
- MI-MIC closure detection
- Auto Fall Back and Auto Fall Forward
- Controlled and configured by an attached terminal
- Remote configuration and diagnostics
- Front panel mode selections are stored in battery-backed memory.

Benefits

- 2:1 data compression for 19.2 Kbps effective throughput in async mode
- Auto-dials from a directory of ten 64-digit stored numbers
- Supports statistical multiplexers and front-end processors, as well as individual terminals, both sync and async
- Auto baud or fixed baud rate
- Can go off-hook in originate mode, to permit dial-back security
- Maximizes throughput on phone lines of varying quality
- Operates in multiple modes with user configurable flexibility
- Central site can configure and monitor.
- Standalone or Rackmount models



TECHNICAL SPECIFICATIONS

ACTION 32

Operating Modes
Asynchronous
2-wire dial or lease
 V.32 – 9600 & 4800 bps
 V.22bis – 2400 & 1200 bps
 212A/V.22 – 1200 bps

4-wire lease
 V.32 – 9600 & 4800 bps
 V.22bis – 2400 & 1200 bps

Error Control – MNP 4
Data Compression – MNP 5
Auto Dial Back Up and Auto Restore
Auto Fall Back and Auto Fall Forward

Synchronous
2-wire dial or lease
 V.32 – 9600 & 4800 bps
 V.22bis – 2400 & 1200 bps
 212A/V.22 – 1200 bps

4-wire lease
 V.32 – 9600 & 4800 bps
 V.22bis – 2400 & 1200 bps

Auto Dial Back Up and Auto Restore
Auto Fall Back and Auto Fall Forward

Transmit Level
 Permissive for dial; (-9dBm)
 Programmable 0 to -12dBm leased lines

Line Connections
 6-pin modular for leased line;
 6-pin modular for dial lines

Instrument Connector
 6-pin modular

Receiver Dynamic Range
 0 to -43 dBm

Equalization
 Automatic adaptive equalization per
 CCITT specifications

Closure Detection
 MI-MIC detection

Audio Monitor
 Internal speaker with software pro-
 grammed volume control.

DTE Connector
 Serial EIA-RS232-C
 CCITT V.24, DB25S (Female)

Asynchronous – full duplex, 8 bits or
 7 bits plus parity; odd, even, zero or
 one, selectable during configuration.
 One start and one or more stop bits.

Synchronous – full duplex
 Internal, external or slave clocking.
 Hayes AutoSync compatible for
 remote synchronous IBM SNA/BSC
 terminal emulation.

Diagnostics
 CCITT V.54

Port Speeds
 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, or
 19,200 bps (selectable during con-
 figuration) in async modes. Auto
 baud or fixed rate soft selectable.
 Line rate in sync modes.

Flow Control
 RTS/CTS (EIA) and/or
 X-ON/X-OFF
 Hewlett Packard – ENQ/ACK
 Data General

Power Requirements
 95-125 VAC, 47-63 Hz, or
 200-255 VAC, 47-63 Hz
 20 watts max

Temperature
 Operating 0° to 40° C (32° to 104° F)

Relative Humidity
 0 to 85% non-condensing

Altitude
 0 to 3660 meters (12,000 feet)

Ringer Equivalence
 0.4B

Physical Dimensions
 8 1/2" (21.6 cm) wide
 10 1/8" (25.7 cm) long
 2" (5.1 cm) high
 weight: 2.6 lbs (1.2 kg)

FCC Compliance
 Meets FCC Part 68 direct interface
 and FCC Part 15, Subpart J, Class B
 device. FCC Registration #EVZ5TE-
 10407-MD-E.

ACTION Rack
 The ACTION Rack houses up to 16
 modems and 1 System Controller
 Card. It fits in a standard 19" cabinet.

Ordering Information			
Model	Standalone	Rackmount	Specials
ACTION 32	24-1003	24-1003R	
ACTION Rack			16-2401
ACTION Rack Controller Card			15-1004

DATA RACE
 11950 IH 10 West
 Suite 305
 San Antonio, TX 78230
 (512) 958-1900 FAX (512) 558-1929

ACTION is a trademark of DATA RACE, INC. MNP is a trademark of Microcom, Inc. Hayes and AutoSync are trademarks of Hayes Microcomputer Products. Data General and Hewlett Packard are registered trademarks of their respective companies.



COMSPHERE

For high-speed data communications with built-in flexibility and reliability, AT&T Paradyne offers the COMSPHERE 3800Plus Series of V.34 modems. The COMSPHERE 3800Plus is the first family of modems to support V.34 speeds and faster. This family of state-of-the-art modems supports a variety of modulation schemes and functionality for high-speed dial-up and two- or four-wire leased line applications. Consisting of three full-featured modems, the COMSPHERE 3800Plus Series family utilizes AT&T Paradyne's award-winning architecture to allow new features and enhancements to be downloaded over the telephone lines.

The COMSPHERE 3800Plus Series modems take the V.34 standards to new heights with its proprietary 33,600 bps line rate. The 33,600 bps rate allows users to minimize network on-line time thus increasing network availability.

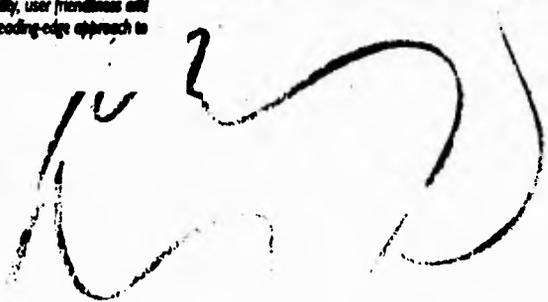
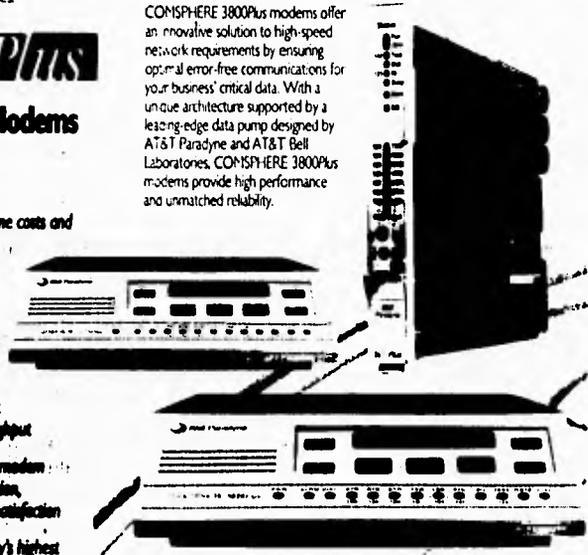
Managed by COMSPHERE 6700 or 6800 Network Management Systems (NMS), the COMSPHERE 3800Plus is a cost-effective solution to today's growing network requirements.

COMSPHERE 3800Plus modems offer an innovative solution to high-speed network requirements by ensuring optimal error-free communications for your business' critical data. With a unique architecture supported by a leading-edge data pump designed by AT&T Paradyne and AT&T Bell Laboratories, COMSPHERE 3800Plus modems provide high performance and unmatched reliability.

3800Plus V.34 Series Modems

BENEFITS

- *Ensures minimal connection time, saving line costs and increasing network availability*
- *Extends modem life, protecting your investment, with AT&T Paradyne's revolutionary software-driven architecture*
- *Complies with the latest industry standards for modulation schemes and compression algorithms, ensuring network compatibility and optimal error-free throughput*
- *Network management ensures advanced modem control, network efficiency, and fault isolation, maximizing application uptime and user satisfaction*
- *AT&T Paradyne name ensures the industry's highest levels of performance, quality, user friendliness and reliability while offering a leading-edge approach to data communications*



FEATURES

- Supports first modem to support V.34 speed (31.2 Kbps)
- Designed for easy migration to support new features and optional features through software downloading
- Provides a sophisticated network security system to manage unauthorized access
- User-friendly configuration and control capabilities via the Diagnostic Control Panel (DCP), NMS or AT commands
- Enhanced asynchronous data performance with ITU V.42bis or MNP5 data compression
- 100 percent data integrity with ITU V.42 or MNP Level 4 error correction
- Remote configuration, control, and status via the LCD Diagnostic Control Panel (DCP), COMSPHERE 6700 or 6600 NMS or AT command set
- Full complement of self tests, local and remote diagnostics including compliance with ITU V.54

COMSPHERE 3800PLUS MODEM FEATURES

Models	3820Plus (2-Wire)	3810Plus (2/4-Wire)	3811Plus (2/4-Wire)
Standalone	Yes	Yes	No
Mount Card	No	No	Yes
Software-Defined Architecture			
Firmware Downloads	Yes	Yes	Yes
Optional Feature Downloads	Yes	Yes	Yes
Modulations			
V.34+*, V.34, V.32terbo*, V.32bis, V.22bis, V.22, V.21, V.103, V.2	Yes	Yes	Yes
Error Correction			
ITU V.42, MNP 2-4	Yes	Yes	Yes
Data Compression			
ITU V.42bis, MNP 5	Yes	Yes	Yes
Network Management Control			
	Yes	Yes	Yes
Network Security			
Access Security 20 Passwords	Yes	Yes	Yes
Out-of-Band 3000 Passwords	No	No	Yes
Callback Security	Yes	Yes	Yes
Dialing			
ITU V.25bis	Yes	Yes	Yes
AT Commands	Yes	Yes	Yes
6700/6600 Network	Yes	Yes	Yes
DCP Front Panel	Yes	Yes	Yes
Management System			
Diagnostic Control Panel	Yes	Yes	Yes
Auto Dial Backup to Leased Lines	No	Yes	Yes
Optional Modulations			
ITU V.33	No	Yes	Yes
ITU V.29	No	Yes	Yes

SPECIFICATIONS

Dial Line Modulations:

- V.11+*, 19.2 Kbps, 31.2 Kbps, 16 Kbps, Coded Modulation (CM) synchronous/asynchronous
- ITU V.33 28.8 Kbps, 26.4 Kbps, 24.0 Kbps, 21.6 Kbps, 19.2 Kbps, 16.8 Kbps, 14.4 Kbps, 12.0 Kbps, 10.8 Kbps, and 9.6 Kbps, 1CM synchronous/asynchronous
- V.32terbo* 19.2 Kbps, 16.8 Kbps, 1CM synchronous/asynchronous
- ITU V.32bis 14.4 Kbps, 12 Kbps, 9600 bps, 7200 bps, 4800 bps, Quadrature Amplitude Modulation (QAM), synchronous/asynchronous
- ITU V.32 9600 bps, 4800 bps, QAM synchronous/asynchronous
- ITU V.22bis 2400 bps, QAM synchronous/asynchronous
- ITU V.22 1200 bps, QAM synchronous/asynchronous, Differential Phase Shift Keyed (DPSK)
- AT&T 212A 1200 bps, synchronous/asynchronous, DPSK
- AT&T 103 300 bps, asynchronous, FSK
- ITU V.21 300 bps, asynchronous, FSK

4-Wire Leased Line Modulations:

- V.34+*, 33.6 Kbps, 31.2 Kbps
- ITU V.34 28.8, 26.4, 24, 21.6, 19.2, 16.8, 14.4, 12, 9.6, 7.2 and 4.8 Kbps
- V.32terbo* 19.2 Kbps, 16.8 Kbps
- ITU V.32bis 14.4 Kbps, 12 Kbps, 9600 bps, 7200 bps, 4800 bps
- ITU V.32 9600 bps, 4800 bps
- ITU V.22bis 2400 bps
- ITU V.33 (Optional Software) 14.4 Kbps and 12 Kbps
- ITU V.29 (Optional Software) 9600 and 4800 bps

Auto-Mode

V.34+/V.34/V.32terbo/V.32bis/V.32bis/V.22bis/V.22bis/V.21/V.21

Auto Rate (Fall back/forward)

33.6 Kbps, 31.2 Kbps, 28.8 Kbps, 26.4 Kbps, 24 Kbps, 21.6 Kbps, 19.2 Kbps, 16.8 Kbps, 14.4 Kbps, 12 Kbps, 9600 bps, 7200 bps, and 4800 bps

DTE Rates (Asynchronous)

115.2 Kbps, 57.6 Kbps, 38.4 Kbps, 19.2 Kbps, 14.4 Kbps, 12 Kbps, 9600 bps, 7200 bps, 4800 bps, 2400 bps, 1200 bps, 300 bps

DTE Interface

EA/TIA 232D/ITU V.24/ISO 2110

Special Functions

20-Number Password Access Security Directory
V.13 Simulated Carrier Control
V.14 Asynchronous-to-Synchronous Conversion
UNIX CD Wink

Power Requirements

117 VAC \pm 10 percent, 60 Hz or 220-240 VAC
 \pm 10 percent, 50 Hz or 60 Hz

Power Consumption

COMSPHERE 3810Plus, 3820Plus (including power adapter-speaker off) 5.25 watts
COMSPHERE 3811Plus (each card) 4.25 watts

Certification

Telco FCC Part 68 (USA) DOC (Canada)
Safety UL (USA) CSA (Canada)
Emissions FCC Part 15, Subpart J, Class A AWZ USA-74790-MD-E

* V.34+ and V.32terbo are AT&T Paradise modulations which are currently not supported by the ITU

For additional information on any AT&T Paradise product or service, contact the office nearest you. Or dial toll free (USA and Canada) 800-462-3333, fax (USA) 613-530-2103.

Tel: (908) 769-5200, fax: (908) 769-7469, Montreal: (514) 388-3701, fax: (514) 388-1243
 U.S. toll free: 800-462-3333, fax: 613-530-2103, Toronto: (416) 313-3206, fax: 416-313-3206-2129
 Telex: (510) 943-0063, fax: (510) 943-3767, Edinburgh: (0131) 230-2319, fax: (0131) 532-5240

See us at the 1993 Comdex conference.

COMSPHERE is a registered trademark of AT&T Intellectual Property. Other names mentioned are the names of various manufacturers of modems and other computer-related products. © 1993 AT&T Intellectual Property Corporation.

PCT-DAB18-1-1194

AT&T was recognized with these awards for modem technology and quality.



Printed on Recycled Paper



DATAPORT®
14.4/FAX FAMILY
 of Fax Modems

The DataPort Family of Fax Modems integrate full-function, high-speed modem and fax capabilities into one device. Featuring AT&T's exclusive Optical Line Interface (OLI™), and Enhanced Throughput Cellular (ETC™) protocol, pat. pending, DataPort fax modems improve connectivity, compatibility, and performance on land lines and cellular connections. For IBM PC and the Macintosh, DataPort fax modems are available in a variety of models to exactly meet your dial-up needs.

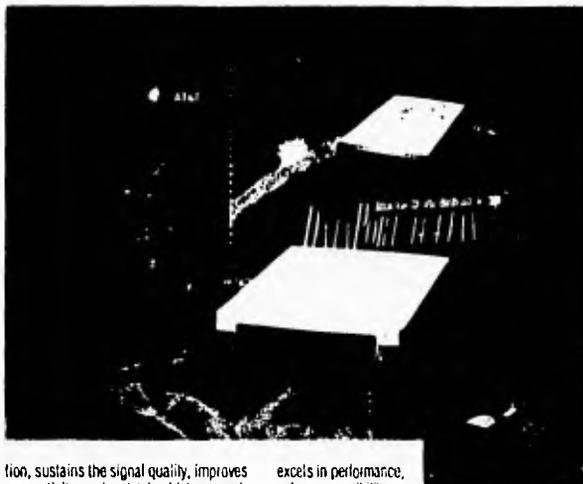
BENEFITS

- Saves office equipment costs by integrating both modem and fax functions in one device
- Saves long distance phone costs through faster transmission
- Improves worker productivity
 - Transfers data faster
 - Reliable connections
 - Expands personal computers into a fax workstation
- Improves reliability for remote mobile users
- Protects your investment with a lifetime warranty, backed by AT&T

OVERVIEW

DataPort fax modems feature AT&T's OLI, an advanced optical coupler that outperforms conventional, transformer-based modems on noisy, weak lines.

Modem couplers serve to protect the modem's circuitry. However, traditional, transformer-based couplers normally add some noise to the data stream. On bad lines, when noise starts to overpower data, this additional distortion can cause the modem to fall back in speed, fail to connect, or fail to perform. In contrast, AT&T's Optical Line Interface limits distur-



tion, sustains the signal quality, improves connectivity, and maintains higher speeds especially on weak phone lines.

FEATURES

- Optical Line Interface (OLI)
- CCITT compatibility V.32bis, V.32, V.22bis, V.22 and V.21, AT&T 212A, and AT&T 1103J
- Fax compatibility V.17, V.29, V.27ter (Group 3), PC FAX, Class 1, Class 2 compatible
- Line data rates
 - 14,400 bps to 300 bps
- Line fax rates: 14,400, 9,600, 7,200, 4,800, and 2,400 bps
- Data compression: CCITT V.42bis or MNP 5
- Error correction: CCITT V.42 or MNP 4-2, ETC protocol for cellular
- Autosync support
- 16550A buffered UART (PC-internal card)
- Effective throughput: 57,600 bps
- Limited lifetime warranty

PERFORMANCE

The DataPort Family of Fax Modems

excels in performance, value, compatibility, and reliability. Its faster transmission reduces long distance line costs. For example, based on sending 1 megabyte of data per week, a 2,400 bps modem takes 70 minutes to transfer data. The DataPort 14.4/Fax Modem takes only 4.2 minutes, based on an average throughput of 40,000 bps and maximum throughput up to 57,600 bps.

And you gain additional value advantages. With both modem and fax capabilities in one device, you only need and pay for one phone line. Furthermore, you can transmit fax images directly to and from fax machines and fax modems, without the expense of a separate fax machine, all on a single phone line.

Each DataPort fax modem comes with free, powerful QuickLink II communications/fax software for DOS and Windows



DATAPORT is a registered trademark of AT&T. OLI and ETC are trademarks of AT&T. All other products or services mentioned are the trademarks, service marks, registered trademarks, or registered service marks of their respective owners.

Lifetime warranty is limited and applies to original purchaser only.

D11-DA37-2 0394

3.1 The Macintosh models include both free QuickLink II software and a high-speed serial-port cable. All include a free online service start-up kit.

Tested and proven to be compatible with most modems, speeds, and standards, DataPort modems automatically sense and adjust to the line speed of other modems, and easily connect—even to older, slower modems. Their superior connectivity saves the frustration, embarrassment, and additional long distance costs of repeated dialing.

The DataPort family features the same robust, award-winning technology designed for large data centers by AT&T Bell Labs and AT&T Paradyne. We invented modem technology over 35 years ago; in rigorous laboratory testing and daily use, we've demonstrated our solid product reliability.

The DataPort family builds on this excellence, and to prove it, AT&T backs it with a limited lifetime warranty.

You gain the benefits of our experience: highest performance, excellent value, the industry's widest compatibility, and unsurpassed reliability in the DataPort Family of Fax Modems.

MODELS

DataPort 14.4/Fax External for PC
DataPort 14.4/Fax External for Mac
DataPort 14.4/Fax Internal for PC

SPECIFICATIONS

CCITT

V.32bis, V.32, V.22bis, V.22, V.21, V.23,
Bell 212A, Bell 103J

Fax

V.17

V.29, V.27ter (Group 3)

PC FAX EIA/TIA-578

Class 1, Class 2 compatible

Line data rates

14,400 bps to 300 bps

Line fax rates

14,400, 9,600, 7,200, 4,800, and 2,400 bps

Data compression

CCITT V.42bis or MNP 5

Error correction

CCITT V.42 or MNP 4-2, ETC for cellular

Autorate

14,400, 12,000, 9,600, 7,200, 4,800 bps

Fall back/forward

14,400, 12,000, 9,600, 7,200, 4,800 bps

DTE rates

To 57,600 bps

Command set

HAYES AT

FRONT PANEL INDICATORS

External models

EC, HS, CD, OH, RD, SD, TR, MR

Telephone interface

Optical Line Interface (OLI), pat. pending

Dial line, RJ11C permissive

DTE Interface

EIA/TIA 232E, CCITT V.24, V.28

15A (PC internal)

Comm port

COM 1-4, 16550A buffered UART

(or compatible)

IRQ 2-4 (internal)

DIMENSIONS

External models

Height: 4.25 in (3.0 cm)

Width: 6.0 in (15.0 cm)

Depth: 8.75 in (22.0)

Weight: 1.3 lbs (59 Kg)

Internal models

Height: 4.78 in (12.1 cm)

Width: 0.9 in (2.3 cm)

Depth: 6.08 in (15.4 cm)

Weight: 4.0 oz (113.36 g)

POWER

External models

5.37 watts

CERTIFICATION

DOC 230 4982 A LOAD #7 (External); 230

4980 A LOAD #6 (Internal); CSA 22.2

No. 950; UL LISTED 1950; FCC Part 15,

Class B; FCC Part 68, AW2USA-73706-

FA-E (External), AW2USA-73812-FA-E

(Internal)



For additional information on this or any AT&T Paradyne product contact the office nearest you. Or, dial toll free (USA and Canada) 800 182-3333. Fax (USA) 813 530-2103.

Europe: Middle East, Africa 44 734 449000 FAX: 44 734 693964
Canada 1 416 494 0453 FAX: 1 416 494 5723
Hong Kong: 652 543 0063 FAX: 652 541 3767
Singapore 65 390 5321 FAX: 65 390 5377
Latin America 1 813 530 2330 FAX: 1 813 532 1740
Japan 81 3 3206 2121 FAX: 81 3 3206 2129

Printed in U.S.A. ©AT&T Paradyne Corporation 1994



COMSPHERE

The COMSPHERE 3900 series of software-definable, high-speed, analog private line modems are ideal for today's worldwide networks — because it offers a single modem for worldwide, point-to-point or point-to-point, analog private line and dial applications. That means you get a high level of flexibility, sophistication, and speed in the reliable, easy-to-use unit.

Based on AT&T Paradyne's award-winning COMSPHERE 3800 Series architecture, the COMSPHERE 3900 offers fully integrated dial or secondary leased line backup, multiplexing and network management. Software-defined flexibility lets you change, upgrade or enhance the modems through options that can be downloaded over the public switched network.

The COMSPHERE 3900 delivers unsurpassed reliability — supporting two-

wire dial restoral at V.32bis[®], and if configured, restoral of the primary two or four-wire leased line circuit with a secondary leased line. With its superior flexibility, reliability, and speed, the COMSPHERE 3900 Series is the ideal modem for your worldwide network.

The COMSPHERE 3900 is full-featured to meet the requirements for high-volume, high-transaction leased line networks where data integrity and speed are critical. Features include a four-port time division multiplexer (TDM) option, asynchronous data port support, and speeds up to 28.8 Kbps^{**}.

Designed to meet the stringent requirements of international regulatory organizations, the COMSPHERE 3900 Series uses a unique, configurable design of the Data Access Arrangement (DAA) — the circuitry which interfaces with the network. The 3900 Series also has a self-sensing power supply plus Generic Call Progress Algorithm to meet many international requirements.

COMSPHERE 3900 modems can be configured for two-wire, single-call dial restoral or two-wire leased line restoral. As line quality begins to deteriorate, the modems (if optioned) will downshift to lower speeds, attempting to preserve the link. If it is unable to operate at 4800 bps, the modem will initiate dial backup.

COMSPHERE 3900 SERIES ANALOG PRIVATE LINE MODEMS

BENEFITS

- AT&T Paradyne's unique Data Access Arrangement (DAA) architecture offers a single modem for world wide networks
- Meets high-speed network requirements beyond V.32bis with 28.8 Kbps^{**} over two or four-wire leased lines and public switched networks
- Protects hardware investment with software-driven architecture
- Optional four-port TDM provides maximum efficiency over two-wire or four-wire circuits and eliminates the need for additional equipment
- Offers network flexibility in both leased line and dial applications
- Delivers faster response times with Trellis multipoint turn-around times as low as 10 milliseconds
- Prevents interruptions or data loss when switching between dial and leased lines
- User friendly front panel provides control of both local and remote modems



COMSPHERE is a registered trademark of AT&T. V.32bis is a registered trademark of ITT. All other trademarks are the property of their respective owners. © 1988 AT&T Paradyne.

FEATURES

- High-speed multipoint or point-to-point network support with multiple baud rates in multipoint mode
- Four-port TDM modulation plus primary data tail circuit support
- Designed for growth and migration with software downloading of upgrades and new features over the bus or leased line network
- Automatic and non-interruptive restoration of the primary two or four-wire leased line with high-speed dial or secondary two-wire leased line
- Front panel control of local and remote modems for configuration, control and status

- Fully implemented software-based network management supports with COMSPHERE 3900 Series Network Management System (NMS)
- Compatible with 28.8 Kbps and 56 Kbps AT Modem, 28.8 Kbps Multipoint and CCITT standards, 19.2 Kbps, 14.4 Kbps, 12 Kbps, 9.6 Kbps, V.21, V.22, Bell 212A and 212B

FUTURE OPTIONS

- V.34 modulation support
- Diagnostic tail circuit support
- Multipoint dial backup support

SPECIFICATIONS

Leased Line Modulations

V.32terbo* 19.2 Kbps, 16.8 Kbps Trellis Coded Modulation (TCM)

CCITT V.32bis, 14.4 Kbps, 12.0 Kbps, 9600 bps, 7200 bps Trellis Coded Modulation, 4800 bps Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

CCITT V.33 14.4 Kbps, 12.0 Kbps, synchronous Trellis Coded Modulation (TCM)

CCITT V.32 9600 bps Trellis Coded Modulation (TCM), 4800 bps Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

CCITT V.29 9600 bps, 7200 bps Trellis Coded Modulation, 4800 bps Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

AT&T Paradyne Trellis Multipoint 19.2 Kbps, 14.4 Kbps, 9600 bps, 7200 bps, 4800 bps, 2400 bps

CCITT V.22bis 2400 bps, synchronous/asynchronous, Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

CCITT V.27bis 4800 bps, 2400 bps

Differential Phased Shift Keying (DPSK)

Dial Line Modulations

28.8 Kbps**, V.32terbo* 19.2 Kbps, 16.8 Kbps (TCM)

CCITT V.32bis 14.4 Kbps, 12.0 Kbps, 9600 bps, 7200 bps (TCM), 4800 bps (QAM)

CCITT V.32 9600 bps (TCM), 4800 bps (QAM)

CCITT V.22bis 2400 (QAM)

CCITT V.22 1200 bps (DPSK)

CCITT V.23 1200/75.600/75 bps (FSK)

CCITT V.21 300 bps (FSK)

AT&T 212A 1200 bps (DPSK)

AT&T 103 300 bps (FSK)

Transmit VF Interface

Signal Level: selectable 0 to -15dbm

Impedance: 600 ohms \pm 10% balanced

Out of band energy meets international standards

Receive VF Interface

Impedance: 600 ohms \pm 10% balanced

VF Connectivity

Leased Line J118 (Standalone)

50-pin Mass Termination (Nestcard)

Dial Line RJ-11C permissive (Standalone)

RJ-21X permissive 50-pin connector (Nestcard)

DTE Interface

(Standalone) CCITT V.24/EIA-RS-232-D

25-pin D-type sub miniature connector

Power Requirements

100 to 240 VAC, 50-60 Hz (Standalone)

100 to 240 VAC, 50-60 Hz and 48 VDC (Nestcard)

Power Consumption

6 watts speaker off (Standalone)

4 watts each card (Nestcard)

Operating Environment

Normal temperature: 32°F (0°C) to 122°F (50°C)

Relative humidity: 5% to 90% non-condensing

Shock and vibration: withstands normal shipping

Storage temperature: -1°F (-20°C) to 158°F (70°C)

Auto-Mode

28.8 Kbps*/V.32terbo*/V.32bis/V.32/V.22bis/V.22/AT&T 212A/AT&T 103

Dimensions

Standalone

7.6" W x 12" D x 2.2" H

(19.3 cm W x 30.48 cm D x 5.59 cm H)

Nestcard

7.25" W x 13" D x 0.97" H

(18.42 cm W x 33.02 cm D x 2.46 cm H)

Weight

40 oz. (1.13 kg) (Standalone)

16 oz. (0.45 kg) (Nestcard)

Approvals

The COMSPHERE 3900 Series meets an extensive list of country certifications/approval requirements.

For additional information on this or any AT&T Paradyne product or service, contact the office nearest you. Or, dial toll-free (USA and Canada) 800-363-3333. Fax (USA) 813-530-2102.

Toronto 416-299-5500 ext. 405-709-3169
Montréal 514-288-3001 ext. 514-288-1246
London 44-203-291-1997 ext. 44-753-590011
Tokyo 03-3251-1111 ext. 03-3251-1119
Hong Kong 852-241-1111 ext. 852-241-1167
Latin America 1-800-333-3333 ext. 1-800-333-3333

See us at COMDEX '94 in Booth #2020

©1994 AT&T Knowledge Ventures

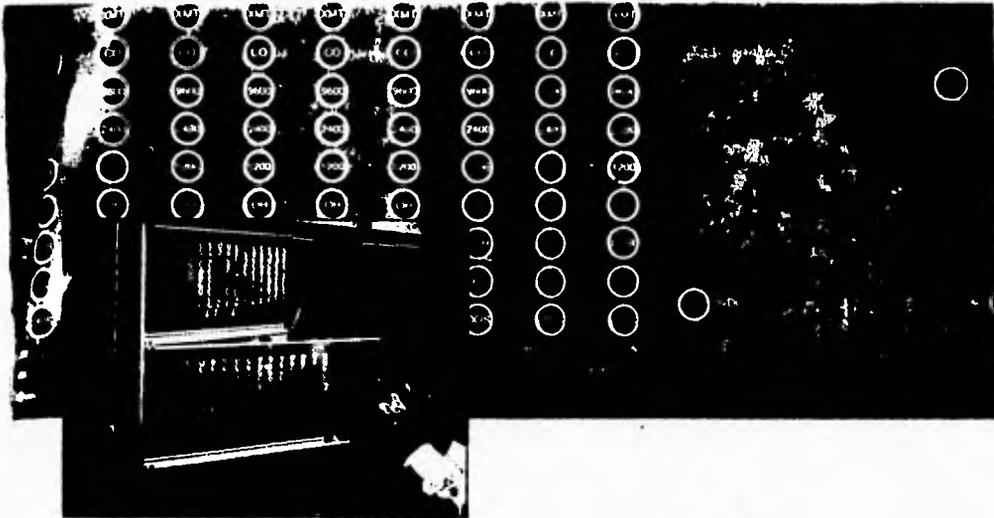
AT&T Paradyne is a registered trademark of AT&T Knowledge Ventures

AT&T Paradyne is a registered trademark of AT&T Knowledge Ventures

AT&T Paradyne is a registered trademark of AT&T Knowledge Ventures

AT&T Paradyne is a registered trademark of AT&T Knowledge Ventures

Printed on Recycled Paper



Rack Mounted Modems

*Space Saving and Convenient Modems
for Central Site Applications*

Multi-Tech's rack-mounted modems offer a complete range of speeds, capabilities and features. Starting with our top-of-the-line 9600 bps V.32 modems, we also offer 2400, 1200 and/or 300 bps models that conform to CCITT V.22bis, V.22, V.23, V.21, V.29, Be/WAT&T 212A, 103, 113 and 202 standards.

Multi-Tech rack-mounted modems are card versions of our popular MultiModems redesigned to fit into a smaller space. We have rack-mounted cabinets that can accommodate up to sixteen of these modems, with all using a common power supply. So instead of stacking a large number of desktop modems on a shelf somewhere, rack-mounting allows you to install your modems professionally, with better accessibility, and for less cost per communications line.

The most common rack-mounted modem applications are at central sites answering incoming calls. The auto-answering capability, along with space saving features, make Multi-Tech rack-mounted modems ideal for central site computer users. Applications such as university data centers, corporate data processing

departments, on-line database services, realty MLS boards, systems integrators and credit bureaus will find just the right Multi-Tech rack-mounted modem and cabinet combination at a reasonable cost.

We have three different racks to match your modem requirements. We have one for 2400 bps modems (CC216), one for 9600 bps modems (CC916), and one for a mix of modem speeds (CC216G). All racks use the same power supply (PS216A). The rack itself, which measures 19 inches wide by 7 inches high, will fit any standard electronic equipment rack and can usually be mounted in the same cabinet as a mini or mainframe computer. For your convenience, there is also a special desktop chassis available for a single modem.

All of our rack-mounted modems (except the MT202TR and MT929AR which are dedicated leased line units) operate over dial-up or leased lines. They operate asynchronously or synchronously, provide automatic dialing and answering, and are fully compatible with the "AT" command set. This "intelligence" gives you control over your modems for tasks

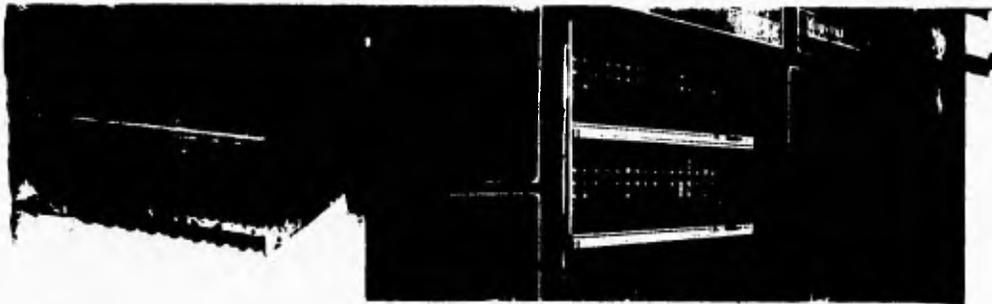
such as parameter setting, phone number entry and testing. And, if you operate in the synchronous world, some of our rack-mounted modems can autodial in the standard CCITT V.25bis mode.

Beyond these basics, some of our rack-mounted modems include error correction, data compression, remote configuration and callback security, and there are even models (MT932LR and MT932LRB) that operate over 4-wire leased lines with V.32 two-wire dial back-up and automatic leased line restoral.

Multi-Tech's rack-mounted modem system incorporates a wide variety of communications standards and provides modem speeds, features and cabinetry to match your budget. It's the right answer...at the right price.

Leibniz No. 14 Piso 8, Col. Nueva Aurora
11530 México, D. F.

MultiTech
Systems



Rack-Mounted Modem System

Convenience is an important design consideration in Multi-Tech's rack-mounted modem system. Our racks accommodate up to 16 modems, allow for quick and easy insertion and removal, occupy little space, display complete LED sets for each modem and have all interface cables conveniently located.

To insert a modem, you simply open the hinged door and slide in the card. You don't need tools, and since the RS232C cables and phone cords are connected to the rack's backplane, there is no need to crawl behind a cabinet in order to remove a modem card.

By displaying each modem's complete LED display, the rack design makes it easy to see what's going on over the communication lines. You can quickly check modem

activity (i.e. on-line, transmitting, receiving or hanging-up), and tell when there's a problem with a particular line.

The companion D-series desktop chassis lets you pull a modem card from a rack and convert it into a desktop modem for testing, using at remote sites, or even at home.

Modem Feature Basics

Standards and performance are the foundation of data communications, and our rack-mounted modems match or exceed every popular standard in the industry. (Obviously not every modem has every feature, so refer to the accompanying chart and specifications to find the modem that matches your specific requirements).

All but two of our rack-mounted modems can auto-answer and auto-dial using AT-compatible commands. Most operate asynchronous or synchronous using appropriate combinations of leased or dial-up, 2- or 4-wire, half or full duplex communications facilities. For synchronous dialing some use the CCITT V.25bis standard (this standard can also be used for asynchronous dialing).

Manual controls include a front panel toggle switch for selecting speeds, and (if appropriate) Voice/Data with Originate or Answer. Internal DIP Switches may also be used for some parameter selections.

Error Correction

The integrity of data is an important consideration in all data communications, but in some applications even a single data error is critical. If error correction is

necessary to your communications, we have error correcting rack-mounted modems with MNP[®] Classes 2, 3 and 4 along with CCITT V.42 error correction. The V.42 error correcting standard incorporates both MNP[®] and LAP-M error correction techniques.

Data Compression

With Multi-Tech rack-mounted modems, you can now choose from MNP[®] or V.42bis data compression. With MNP[®] Class 5's 2-to-1 compression (available in 2400 and 9600 bps modems) and serial port speed conversion, you can get up to 4800 bps throughput from a 2400 bps modem or up to 19.2k bps from a 9600 bps modem. For even greater throughput consider a V.42bis 2400 bps or 9600 bps modem. These modems will provide as much as 4-to-1 throughputs for each speed.

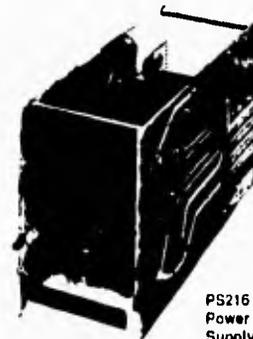
If your data communications is high volume in one direction (i.e. batch file transfers) between sites



You can remove a modem card from the CC216 rack...



...and slide it into a desktop chassis.



PS216
Power
Supply

Rack-Mounted Modems Technical Specifications

Modem Rack

- Model: CC216 (up to 2400 bps), CC916 (9600 bps), CG216G (mixed speeds)
- Capacity: up to sixteen modems and PS216 power supply
- Connectors: Sixteen RS232C female 25 pin, sixteen datacomm line DG 9-pin female for line cables terminating in RJ11, RJ45 or spade connectors, one grounding 3-prong receptacle (AC3G) for AC power
- Dimensions (inches): 19" wide, 7" high, 12 1/2" deep
- Dimensions (centimeters): 48.26 cm wide, 17.78 cm high, 31.1 cm deep
- Weights: Rack alone - 12 lb. (5.4 kg), with power supply - 20 lb. (9 kg), with power supply and sixteen modems - 36 lb. (16.2 kg)

Power Supply

- Input: 110-120 Volts AC, 1.25 amps with fully loaded rack, 2 amp sloble fused
- Output: +5 DC regulated, 10 amps maximum (in addition, +23 volts DC, 3 amps for the 5 volt switching regulator), -20 and -20 volts DC unregulated at 1.6 amps maximum each
- Power Consumption: 150 watts maximum with fully loaded rack
- BTU Rating: 512 BTUs/hour maximum with fully loaded rack
- Ambient Temperature: 32 to 120 F (0 to 50 C)
- Indicators: 117 Volts presence LED, 5 volts presence LED
- Mounting: Slides into rack with two edge connectors
- Weight: 8 lb. (3.6 kg)

Stand-Alone D-Series Cabinet

- Capacity: one modem per cabinet
- Dimensions (inches): 2 5/16" high x 7 11/16" wide x 12 3/8" long
- Dimensions (centimeters): 5 8/13 high x 19.526 wide x 31.432 long
- Weight: 2.5 lbs without xmr, 4 lbs with xmr
- Power Requirements: 115 VAC, 60 HZ, three prong outlet
- Ambient Temperature: 32 to 120 F, 0 to 50 C

Modem Specs (Common for all modems)

- Data Format: Synchronous and Asynchronous (MT202TR asynch only)
- Connector: tab edge connector
- Frequency Stability: ± or - .01%
- Receiver Sensitivity: -43 dBm under worst-case conditions
- Intelligent Features: (except for MT202TR and MT929AR) Fully "AT Command" compatible, auto dial, redial, repeat dial, dial linking, pulse or tone dial, dial pauses, call status display, auto-parity, data rate selection and keyboard-controlled modem options

MT202TR - Bell Western Electric 202C/D/E/R/S/T MODELS

- AGC Dynamic Range: 40 dBm
- 2-wire or 4-wire leased line only

MT212AR2 - CCITT V.22, V.21; Bell AT&T 212A & 103

- Storage: non-volatile memory for modem option parameters and up to ten command line/telephone numbers of up to 40 digits each
- Transmit Level: -9dBm for RJ11, 0 to -12 dBm for RJ45 or RJ41
- AGC Dynamic Range: 43 dBm

MT212ER - CCITT V.22, V.21; Bell AT&T 212A & 103

- Storage: non-volatile memory for modem option parameters and up to ten phone numbers of up to 37 characters each
- Transmit Level: -9dBm
- AGC Dynamic Range: 43 dBm
- Controls: Toggle switches for Voice/Data with Originate or Answer, 1200/300 speed selection, 12 DIP switch options, and power

MT224AR - CCITT V.22bis, V.22, V.21; Bell AT&T 212A & 103

- Storage: non-volatile memory for modem option parameters and up to ten phone numbers of 37 digits each
- Transmit Level: -9dBm
- AGC Dynamic Range: 43 dBm
- Controls: Toggle switches for Voice/Data with Originate or Answer, 1200/300/2400 speed selection, 12 DIP switch options, and Power

MT224ER - CCITT V.22bis, V.22, V.21; Bell AT&T 212A & 103

- Storage: non-volatile memory for modem option parameters and up to ten phone numbers of up to 37 digits each
- Transmit Level: -9 dBm
- AGC Dynamic Range: 43 dBm

MT224ER7 - CCITT V.22bis, V.22, V.21; Bell AT&T 212A/113&103

- Storage: non-volatile memory for modem option parameters and up to ten command line/telephone numbers of up to 55 digits each
- Transmit Level: -10dBm dial-up line, 0dBm leased line, adjustable between 0 dBm and -24 dBm
- AGC Dynamic Range: 43 dBm

MT929AR - MNP Class 6; CCITT V.22bis, V.22; Bell AT&T 212A & 113/103

- Storage: non-volatile memory and on screen displays for modem option parameters and up to ten phone numbers of up to 55 digits each
- Transmit Level: -9dBm
- AGC Dynamic Range: 43 dBm

MT929AR (Synchronous) - CCITT V.29 (9600, 7200 & 4800 BPS)

V.27bis (4800 bps)

- Intelligent Features: "AT command" compatible, auto-parity and data rate selection, keyboard controlled modem options, non-volatile memory for option parameters
- Transmit Level: Switch-selectable to 0 dBm or -5 dBm, Command-programmable from 0 dBm to -14 dBm
- AGC Dynamic Range: 43 dBm
- Request to Send: V.29: 253 milliseconds
- Clear to Send: V.27: 708 milliseconds
- Receive Data Rate: 9752 BPS (9600 MODE)
- To Terminal: 4876 BPS (4800 MODE)
- Computer (Asynch) Carrier Detect Delay on to off: 30 mSec V.29; 10 mSec V.27; off to on 15 mSec V.29; 15 mSec V.27

MT932ERBR - CCITT V.32, V.22bis, V.22, V.23, V.21; Bell AT&T 212A & 103/113

- Transmit Level: -10 dBm dial-up line; 0 dBm leased line
- AGC Dynamic Range: 43 dBm
- Speed Detection and fallback: Automatic speed detection and switching between 9600, 4800, 2400, 1200, and 300 bps. Automatic fallback from 9600 to 4800 bps under adverse line conditions.
- Storage: non-volatile memory and on screen displays for modem option parameters, and up to ten phone numbers of up to 55 digits each

MT932LR/LRB - CCITT V.32, V.22bis, V.22, V.23, V.21; Bell 212A & 103/113

- Speed Detection and fallback: Same as MT932ER
- Transmit Level: -10 dBm dial-up line, adjustable from 0 to -15 dBm on leased line
- AGC Dynamic Range: 43 dBm
- Storage: non-volatile memory and on screen displays for modem option parameters, and up to ten phone numbers of up to 55 digits each
- Dial Back-up and Leased Line Restoral: automatic 2-wire dial back-up routine dials numbers stored in "N9" when the 2/4-wire leased line fails and automatically restores leased line when possible



IN CARBONERA, CALZADA Y CENTINARIAS SA DE CV.

Leibnitz 13 Penthouse Col. Nueva Anzures
11590 Mexico, D.F.

Tels 9115) 255 31 42

255 32 08

• La Laguna Torreón • Tijuana B.C. • Merida Yuc. • Monterrey N.L.



KeepInTouch™ Card
PCMCIA 14,400 bps
Data and Fax Modem

AT&T's KeepInTouch Card is an all-in-one, high-speed data and fax modem that sends and receives files over both the standard telephone network and cellular communications lines. Based on technology developed by AT&T Paradyne and AT&T Bell Laboratories, the KeepInTouch Card complies with the PCMCIA (Personal Computer Memory Card International Association) standard used by the newest generation of low-profile notebook, palm-top, and pen-based portable computers.

Most important, the KeepInTouch (KIT™) Card is based on the software-defined architecture that was developed by AT&T Paradyne for its COMSPHERE® 3800 Family of Software-Defined Modems, winner of the PC Magazine Editors' Choice® Award.

BENEFITS

- Software-defined architecture increases product life and versatility
- Superior cellular and phone line capabilities ensure increased throughput and higher connection rates, increasing productivity and reducing connection charges
- Integrated data and fax functions in a single platform simplifies operation and increases productivity
- Unparalleled compatibility with PC's
- Low power consumption plus idle and sleep modes extend PC battery life
- Enhanced modulation compatibility ensures interoperability with lower-speed modems



- AT&T's unequalled standards for reliability and performance assure customer satisfaction
- Enhanced user-friendly installation and operation

OVERVIEW

With the KeepInTouch Card, AT&T introduces a major advancement in anytime, anywhere data communications for individuals who must remain productive and accessible, even when away from the office or home.

The KeepInTouch Card features state-of-the-art technology, exclusive to AT&T. Its patented, error-correcting Enhanced Throughput Cellular (ETC™) algorithm provides the most reliable cellular communications available today. Plus, as a member of the family of Software-Defined Modems, the KeepInTouch Card's unique architecture allows new modem enhancements to be downloaded from the AT&T Software Support Center. This approach guarantees increased functionality and flexibility for future applications, thus increasing product life. The KeepInTouch Card also features the sophisticated, award-winning data pump designed by AT&T Paradyne and Bell Laboratories.

In addition to data transfer, this versatile modem can send and receive faxes; it exchanges text and images with fax machines, increasing productivity while reducing expenses.

FEATURES

- Exclusive software-defined architecture that permits downloading of new modem features and enhancements
- AT&T's patented algorithm, ETC, ensures superior data throughput, over cellular communication links
- Ability to directly interface to many popular cellular phones, increasing performance and portability
- CCITT V.32bis modulation, V.42 error control, and V.42bis data compression with data terminal equipment (DTE) rates up to 57,600 bps
- High-speed send and receive fax capabilities that support Group 3, Class 1 and Class 2 with up to 14,400 bps transmission speeds (V.17)
- Miniaturized line interface cables
- Install program that maximizes compatibility with PCMCIA PCs.

ETC
ENHANCED THROUGHPUT CELLULAR

PERFORMANCE

The KeepInTouch Card set features V.32bis data compression that complies with the PCMCIA standard. Delivering line speeds up to 14,400 bps, its high speed design also ensures full compatibility with a wide variety of modulation schemes and functions.

As a result of its software-defined architecture, V.42 error correction, and V.42bis data compression, plus ETC, the KeepInTouch Card provides truly flexible, reliable high-speed communications that meet the demands of today's business travelers. It extends AT&T's leadership in high-speed data communications to the most personal, practical level with the assurance of unsurpassed quality, reliability, and customer support that only AT&T can provide.

SPECIFICATIONS

PC Card Standards

Compliance
PCMCIA Release 2.01, Type II; JEIDA 4.1

Architecture
Software-definable

Modulations

CCITT V.32bis 14,400 bps, 12,000 bps, 9600 bps and 7200 bps Trellis-Coded Modulation (TCM); 4800 bps Quadrature Amplitude Modulation (QAM)
CCITT V.32 9600 bps TCM; 4800 bps QAM

CCITT V.22bis 2400 bps QAM
CCITT V.22 1200 bps, Differential Phase-Shift Keyed (DPSK)

CCITT V.23 1200 bps, DPSK

AT&T 212A 1200 bps, DPSK

AT&T 103J 300 bps, asynchronous, Frequency Shift Keying (FSK)

CCITT V.21 300 bps, asynchronous, FSK

Automods

V.32bis, V.32, V.22bis, V.22, AT&T 212A, AT&T 103J

Autorate Fall Back/Forward

14,400 bps, 12,000 bps, 9600 bps, 7200 bps, 4800 bps

Data Compression

CCITT V.42bis

MNP Class 5

Error Control

CCITT V.42

MNP Class 4-2

Cellular Support

Patented ETC algorithm

Direct connection to cellular phones

DTE Data Rates

115,200 bps, 57,600 bps, 38,400 bps, 19,200 bps, 14,400 bps, 12,000 bps, 9600 bps, 7200 bps, 4800 bps, 2400 bps, 1200 bps, 0-300 bps, Autobaud all rates

Line Signaling Rates

14,400 bps, 12,000 bps, 9600 bps, 7200 bps, 4800 bps, 2400 bps, 1200 bps, 0-300 bps

Network Interface

Dial Line: Single six-position RJ11C with DAA

Direct-connect support to various cellular phones

FAX

CCITT V.17, V.29, V.27ter

EIA/TIA 578 Class 1 and Class 2

Group 3 Send-and-Receive

Data Format

Serial, binary, asynchronous
Hayes AutoSync[®] protocol for

synchronous transmission

Flow Control

RTS/CTS

XON/XOFF

Transmit Level

Permissive: -10 +/- 1 dBm

Configurable: -10 to -25 dBm in 1 dB steps

PC Operating Systems

OS/2

OS-2

Dialing

Pulse tone

Stored Configurations

One factory preset

Two user-definable presets

Test Functions

Local (analog) loopback (TX to RX)

Remote digital loopback (RX to TX)

Digital loopback (RX to TX)

Self test

Transmit and receive 511 pattern

Remote digital loop and pattern

Local (analog) loopback and pattern

Command Buffer

40 characters

Phone # Storage

2 numbers

Communications Port Support

COM 1, 2, 3, 4

Operational Modes

Manual dialing and answering

DTE-controlled dialing and answering with

AT command set

AT command set

TIA/EIA 602

Special Functions

Onboard 16550 buffered UART

Hayes AutoSync

Power Consumption (4 modes)

Operating: 950 mwatts

Stand-by: 15 mwatts

Idle: 475 mwatts

Off: 0 mwatts

Safety Certification

UL 1950 per NEC 800-51

CSA C22.2, No. 950 per CEC

EN-60950

EN-41003

Emissions Certification

FCC Part 15, Class B

CISPR 22-B

EN-55022

Line-Access Certification

FCC Part 68

DOC CS-03

For additional information on this or any AT&T Paradyne product contact the office nearest you. Or, dial toll free (USA and Canada) 800-482-3333. Fax (USA) 813-530-2103.

Toronto 905-709-5000 Fax: 905-709-3459
Montreal 514-288-0001 Fax: 514-288-1246
Europe 44-153-515000 Fax: 44-753-550011
Japan 81-3-3206-2111 Fax: 81-3-3206-2129
Hong Kong 852-343-0065 Fax: 852-541-3167
Latin America 813-530-2330 Fax: 813-532-5240

Call 800-554-4996 for the latest compatibility list of cellular phones and laptop computers.



KeepInTouch AT&T and ETC are trademarks of AT&T
COMPENM is a registered trademark of AT&T
PC Modem is a trademark of Intel. Other registered trademarks are the property of their respective owners. All other trademarks are the property of their respective owners.

Printed in USA. ©1992 AT&T

CM701 LOW SPEED MODEM

Low Speed Modem Option for the CM701 Platform for Simple, Low Speed Data Transmission

- Complete 9.6 to 256 kilobits per second (kbps) modem on an option card
- Up to three modems in one CM701 chassis
- Full compatibility with standard, full-featured CM701 modem or DT7000 earth station

When you have applications that require only simple, low speed data transmission, the CM701 using the Low Speed Modem card is the solution. The option card is particularly well suited to single channel per carrier (SCPC) star networks requiring multiple modems at the hub, SCPC demand assigned (DAMA) networks requiring fast acquisition and low cost, and complex networks needing additional modulators or demodulators.

The Low Speed Modem card is a complete 9.6 to 256 kbps modem contained on a single option card for the CM701 modem chassis. The card contains a modulator, a demodulator, and an RS-449 interface port. This option provides a low-cost modem on the modular CM701 platform, supporting variable rates in 1 bps steps. The card offers QPSK and BPSK operation with Viterbi decoding at rates 1/2, 3/4, and 7/8.

Up to three Low Speed Modem cards are accommodated by the three horizontal option slots in each CM701 chassis, so the option conserves rack space and eliminates the cost of multiple, full-chassis modems. The modem card can also be mixed and matched with standard CM701 modulator or demodulator cards to provide a mix of high- and low-speed services in the same chassis.

This option can interoperate with standard, full-featured CM701 modems or DT7000 earth stations. Complete compatibility means CM701 option cards, such as the Doppler Buffer, Reed-Solomon coder, and Satellite Control Channel can be used with the Low Speed Modem as well. Even additional interface types are available by adding interface cards to the small, vertical option slots in the CM701 or DT7000.



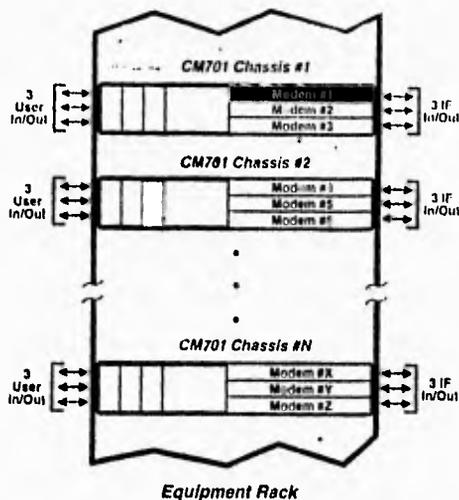
Up to three Low Speed Modem cards fit in a single CM701 or DT7000 chassis.

COMSTREAM
A GEORGE JONES COMPANY

CM701 Low Speed Modem

Specifications

Data Rates	9.6 to 256 kbps
Resolution	1 bit-per-second steps
Modulation Type	QPSK and BPSK
Coding	Viterbi at rates 1/2, 3/4, and 7/8
Intermediate Frequency	70 MHz 18 MHz Direct synthesis (no steps); 100 Hz accuracy
Data Interfaces	RS-449 included, others available on option cards
Scrambling	CCITT V.35
Modem Performance	<0.6 dB from theory
Total Performance (including modem, decoder, scrambling, and differential)	*
Rate 1/2	6.5 dB for 10^{-7} BER
Rate 3/4	7.9 dB for 10^{-7} BER
Rate 7/8	9.0 dB for 10^{-7} BER



The Low Speed Modem saves costs and space in uplinks requiring multiple modems.

Specifications subject to change

Western U.S./Western Canada: 10180 Barnes Canyon Road, San Diego, California 92121 Tel: (619) 553-5416 Fax: (619) 657-5415

Northeastern U.S./Eastern Canada: 101 E. Bayview Drive, Annapolis, Maryland 21403 Tel: (410) 267-8040 Fax: (410) 267-8039

Southeastern U.S./Federal Government: 6501 Democracy Blvd., Ste. 309, Bethesda, Maryland 20817 Tel: (301) 571-9318 Fax: (301) 493-9443

Latin America: 10180 Barnes Canyon Road, San Diego, California 92121 Tel: (619) 553-5416 Fax: (619) 657-5415

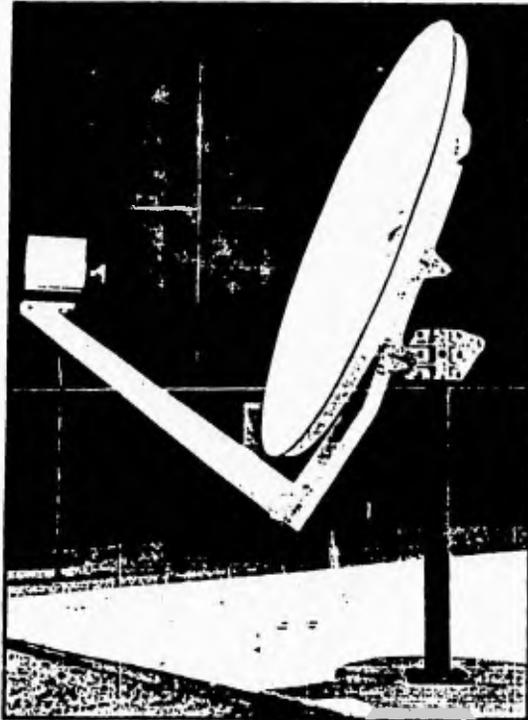
Europe/Middle East/Africa: Ranger House, Walnut Tree Close, Chiddfold, Surrey, GU14US UK Tel: (44) 1483 440 933 Fax: (44) 1483 440 876

North Asia-Pacific: China World Trade Center, No. 1, Guangmenwai Ave., Ste. 2309, Beijing, China 100001 Tel: (86) 1 505-4824 Fax: (86) 1 505-4802

South Asia-Pacific: Wisma Hindu, Jl. H.R. Rasuna Said, Kav. C 6, Lantai 7, No. 702, Jakarta 12940, Indonesia Tel: (62) 21 521-3295 Fax: (62) 21 521-3333

COMSTREAMTM
A Spire Communications Company

C-BAND and KU-BAND



VERTEX 2.4-METER

Model 2.4 VSAT

EARTH STATION ANTENNAS

Vertex offers a commercial quality 2.4 meter VSAT C-Band and Ku-Band all metal antenna with superior performance for transmit/receive video, voice, and data applications for common carriers and private networks.

The model 2.4 VSAT C-Band and Ku-Band features a prime focus offset type mount for customer furnished Rx/Tx packages. Vertex can supply an Rx/Tx feed and OMT configuration with optimized R.F. gain. Each antenna

incorporates a precision formed reflector with matched tooling back stiffeners. The pedestal is an azimuth/elevation pipe mount that is designed to provide the necessary stiffness and pointing accuracy required for Ku-Band operation. The antenna is designed for full orbital arc coverage and is readily adaptable for ground or roof mount.

The antenna meets FCC Regulation 25.209, IESS (INTELSAT), Eutelsat and CCIR Recommendation 580.



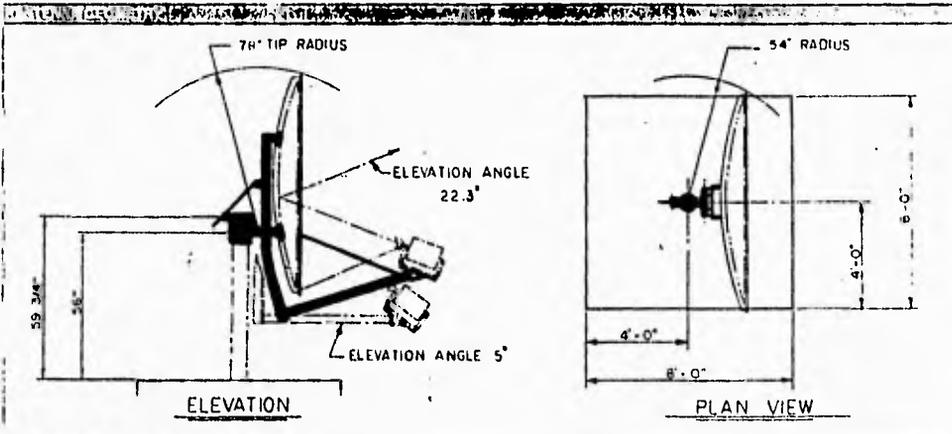
VERTEX COMMUNICATIONS CORPORATION

PERFORMANCE SPECIFICATIONS

SPECIFICATIONS	C-BAND CIRCULAR POLARIZED		K-BAND		ENVIRONMENTAL SPECIFICATIONS	
	RECEIVE	TRANSMIT	RECEIVE	TRANSMIT		
Frequency*	3.7-4.2 GHz	5.925-6.425 GHz	11.7-12.2 GHz	14.0-14.5 GHz	Optional Winds	45 mph (72 km/h) at 50° elevation
Gain at Midband	36.4 dB	42.1 dB	47.9 dB	49.3 dB	Survival Winds	125 mph (201 km/h) at 54°E (15°N)
SWR	1.25:1	1.25:1	1.25:1	1.25:1	Air-Tel Temperature (Survival)	-25° to 60°C (-10° to 140°F)
Waveband	-3 dB	2.06°	0.66°	0.51°	Rain (Operational and Survival)	Up to 4 in/h (10 cm/h)
	+15 dB	2.26°	1.12°	1.19°	Relative Humidity (Operational and Survival)	0% to 100% with condensation
Minimum Noise Temperature at Midband*	2 Port Feed	2.61°	2 Port Feed	2.61°	Solar Radiation	300 BTU/hr/ft ² (1000 Kcal/hr/m ²)
5° Elevation	51°K	50°K	50°K	43°K	Radiation (Survival)	1 inch (2.5 cm) on all surfaces or 1/2 inch (1.3 cm) on all surfaces with 80 mph (130 km/h) wind gusts
10° Elevation	40°K	40°K	43°K	38°K	Shock and Vibration	As encountered during shipment by commercial sea, rail or truck
20° Elevation	35°K	35°K	34°K	34°K	Corrosive Atmosphere	As encountered in coastal regions and/or heavily industrialized areas
40° Elevation	35°K	35°K	28.8	25.1	Seismic (Survival)	Meisick K
Typical G/T at 20° Elevation, Clear Horizon, 4 GHz	19.3					
With 40°K LNA, dB/K	18.1					
With 65°K LNA, dB/K						
Typical G/T at 20° Elevation, Clear Horizon, 12 GHz						
With 90°K LNA, dB/K						
With 150°K LNA, dB/K						
Power Handling Capability**		1 kW		1 kW		
Feed Interface	CPR-2293	CPR-1593	WR-75 Choke	WR-75 Flat		
Feed Insertion Loss	0.10 dB	0.10 dB	0.05 dB	0.05 dB		
Port-to-Port Isolation	21 dB	21 dB	25 dB	30 dB		
Cross Polarization Isolation, On Axis	19.7 dB	19.7 dB	30 dB	30 dB		
Axis Ratio, dB (Voltage Axis Ratio)	1.8 dB***	1.8 dB***				
Fast Scanable		-18 dB		-20 dB		
Stable Pattern Performance		Beyond mainbeam.		Per FCC Regulation 25.209, Eutelsat, NBS (NTELSAT), and CCIR Recommendation 580		
		Per FCC Regulation 25.209, Eutelsat, NBS (NTELSAT), and CCIR Recommendation 580				

* Other frequencies available
 ** Higher power optional
 *** Other axial ratio feeds available

Specifications and product availability subject to change without notice.



MECHANICAL SPECIFICATIONS			
Altitude Travel	180° adjustment	Finishes	Reflector Surface: High reflecting white paint
Elevation Travel	5° to 55° fine adjustment	Reflector Surface	Hot dip galvanized
Weight — Reflector	150 pounds (68 kg)	Surface Accuracy	0.030 inch (0.76 mm) Static
Weight — Pedestal	150 pounds (68 kg)	Foundation Size	8 ft x 8 ft x 1.25 ft (2.4 m x 2.4 m x 0.38 m)
Shipping Weight (typical)	1105 pounds (501 kg)	Concrete Volume	2.87 cubic yards (2.73 m ³)
Shipping Volume	282 cubic feet (8.0 m ³)		





SPECIFICATIONS
2.4M KU-BAND RECEIVE/TRANSMIT
OFFSET ANTENNA SYSTEM
SERIES 1245 - 1246

ELECTRICAL

Effective Aperture		2.4M	96 in.
Operating Frequency	Receive	10.95 - 12.75 GHz	
	Transmit	14.0 - 14.5 GHz	
Midband Gain (± 2 dBi)	Receive	47.5 dBi	
	Transmit	49.2 dBi	
Sidelobe Envelope, Co-Pol	Mainbeam $< \Theta < 7^\circ$	29-25 Log Θ	
	$7^\circ < \Theta < 9.2^\circ$	+8 dBi	
	$9.2^\circ < \Theta < 48^\circ$	32-25 Log Θ	
	$48^\circ < \Theta < 180^\circ$	-10 dBi	
Cross-Pol Isolation		>30 dB (on axis)	
VSWR		1.3:1 Max.	
Insertion Loss		0.2 dBi max.	
Antenna Noise Temperature	20° elevation	32° K	
	30° elevation	28° K	
RF Interface		Available in a variety of designs	

MECHANICAL

Reflector Material		Polyester Glass	
Antenna Optics		Prime Focus, Offset Feed	
Mount Type		Elevation over Azimuth	
Elevation Adjustment Range	1245	5° to 90°, Continuous Fine Adjustment	
	1246	5° to 90°, Continuous Fine Adjustment	
Azimuth Adjustment Range	1245	$\pm 45^\circ$ Fine, 360° Continuous	
	1246	$\pm 10^\circ$ Fine, 360° Continuous	

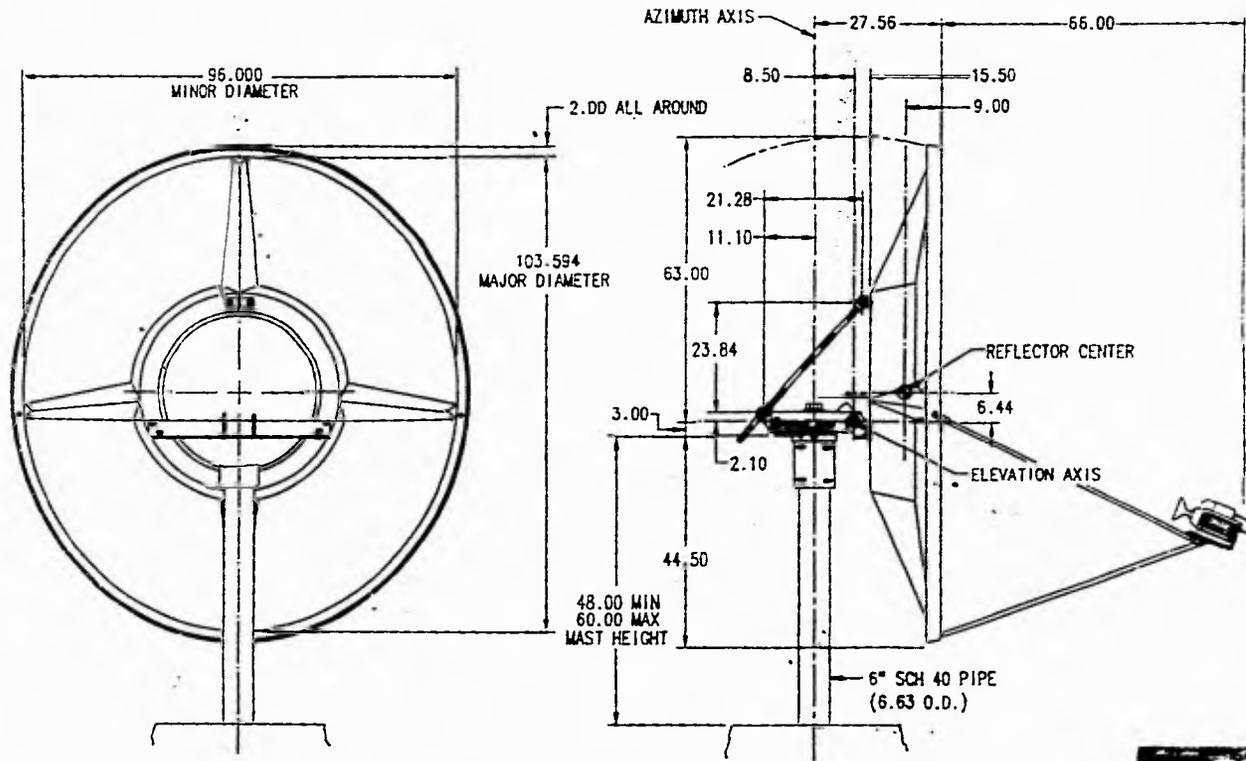
ENVIRONMENTAL PERFORMANCE

Wind Loading	Operational	50 mph	80 km/h
	Survival	125 mph	201 km/h
Temperature	Operational	-40° to 140° F	-40° to 60° C
	Survival	-50° to 160° F	-46° to 71° C
Rain	Operational	1/2" /hr	
	Survival	2" /hr	
Ice	Operational	--	
	Survival	1/2" radial	
Atmospheric Conditions		Salt, Pollutants and Contaminants as Encountered in Coastal and Industrial Areas	
Solar Radiation		360 BTU/h/ft ²	
Shipping Specifications		Weight	430 lbs. 194 kg.

PRODELIN

PO Box 368 • 1700 NE Cable Drive • Conover NC 28613 • 704/464-4141 • Fax 704/464-5725

5007-103101-941 © PRODELIN



**2.4M OFFSET Az/EI ANTENNA GEOMETRY
Ku-BAND RECEIVE/TRANSMIT**





**SPECIFICATIONS
1.8M KU-BAND RECEIVE/TRANSMIT
OFFSET ANTENNA SYSTEM
SERIES 1181 - 1184**

ELECTRICAL

Effective Aperture		1.8M	71 in.
Operating Frequency	Receive	10.95 - 12.75 GHz	
	Transmit	14.0 - 14.5 GHz	
Midband Gain (± 2 dBi)	Receive	45.0 dBi	
	Transmit	46.5 dBi	
Sidelobe Envelope, Co-Pol	Mainbeam $\angle \Theta < 7^\circ$	29-25 Log Θ	
	$7^\circ < \Theta < 9.2^\circ$	+8 dBi	
	$9.2^\circ < \Theta < 48^\circ$	32-25 Log Θ	
	$48^\circ < \Theta < 180^\circ$	-10 dBi	
Cross-Pol Isolation		>30 dB (on axis)	
VSWR		1.3:1 Max.	
Insertion Loss		0.2 dBi max.	
Antenna Noise Temperature	20° elevation	38° K	
	30° elevation	35° K	
RF Interface		Available in a variety of designs	

MECHANICAL

Reflector Material	Glass Fiber Reinforced Polyester SMC
Antenna Optics	Prime Focus, Offset Feed
Mount Type	Elevation over Azimuth
Elevation Adjustment Range	Series 1181 - 10° to 70°, Continuous Fine Adjustment
	Series 1184 - 5° to 90°, Continuous Fine Adjustment
Azimuth Adjustment Range	Series 1181 - 360° Continuous
	Series 1184 - $\pm 45^\circ$ Fine, 360° Continuous

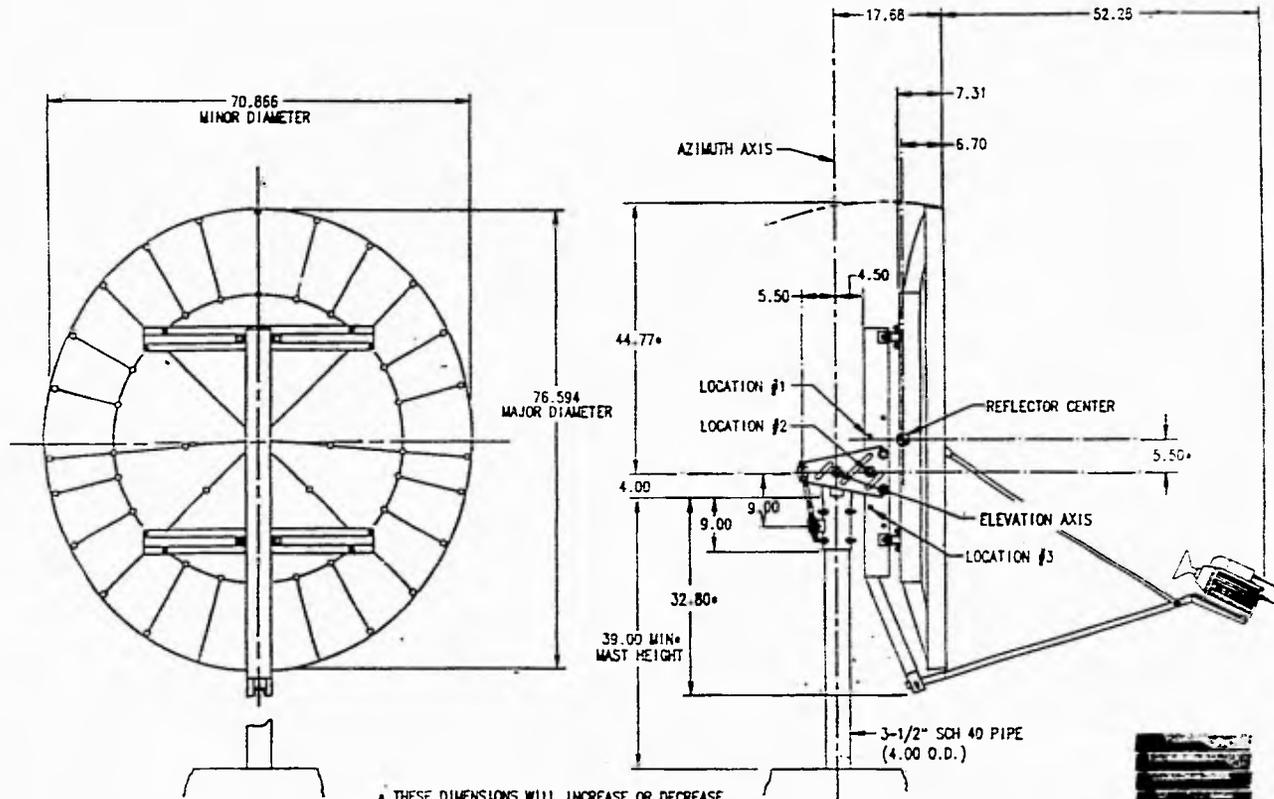
ENVIRONMENTAL PERFORMANCE

Wind Loading	Operational	50 mph	80 km/h
	Survival	125 mph	201 km/h
Temperature	Operational	-40° to 140° F	-40° to 60° C
	Survival	-50° to 160° F	-46° to 71° C
Rain	Operational	1/2" /hr	
	Survival	2" /hr	
Ice	Operational	-	
	Survival	1/2" radial	
Atmospheric Conditions		Salt, Pollutants and Contaminants as Encountered in Coastal and Industrial Areas	
Solar Radiation		360 BTU/hr ²	
Shipping Specifications		Weight	235 lbs. 106 kg.

PRODELIN

PO Box 368 • 1700 NE Cable Drive • Conover NC 28613 • 704/464-4141 • Fax 704/464-5725

5007-097 (01-84) © PRODELIN



* THESE DIMENSIONS WILL INCREASE OR DECREASE BY 6.00" DEPENDING ON CHOICE OF MOUNTING LOCATION NUMBER 1, 2 OR 3. DIMENSIONS SHOWN ARE FOR LOCATION NUMBER 2.

**1.8M OFFSET Az/EI ANTENNA GEOMETRY
Ku-BAND RECEIVE/TRANSMIT**

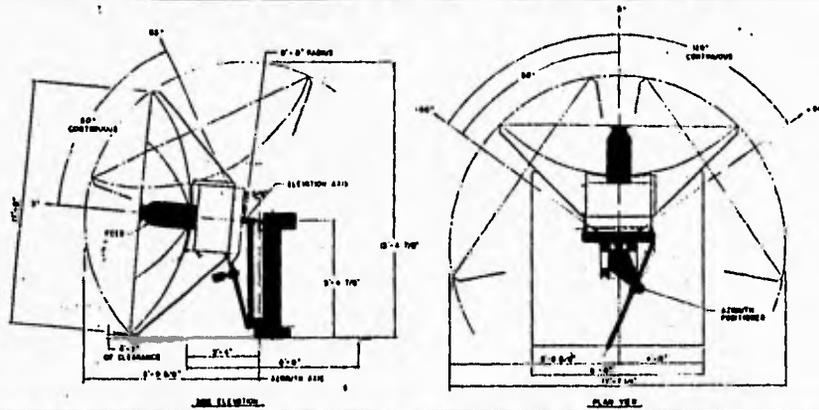


PERFORMANCE SPECIFICATIONS

Specifications	3.7 & 2 GHz	5.925 & 4.25 GHz	11.7-12.2 GHz	14.0-14.5 GHz	Operational Winds
Frequency	3.7 & 2 GHz	5.925 & 4.25 GHz	11.7-12.2 GHz	14.0-14.5 GHz	45 mph (72 km/h) up to 60 mph (97 km/h)
Typical Gain at Midband	41.9 dB	45.0 dB	50.9 dB	52.3 dB	Survival Winds (4% exceed)
VSWR	1.25	1.25	1.25	1.25	125 mph (201 km/h) up to 140 mph (225 km/h)
Beamwidth	-3 to 10	1.30°	0.95°	0.47°	0.35°
	-15 dB	2.90°	2.00°	0.96°	0.82°
Antenna Noise Temperature at Midband	2 Port LP Feed		2 Port LP Feed		Ambient Temperature (Survival)
5° Elevation	4.7K	6.7K	6.7K	6.7K	-20° to 40°C (-4° to 104°F)
10° Elevation	36K	36K	50K	50K	Rain (Operational and Survival)
20° Elevation	30K	30K	41K	41K	Up to 3 in/h (76 mm/h)
40° Elevation	25K	25K	36K	36K	Relative Humidity (Operational and Survival)
Typical G/T at 20° Elevation, Clear Horizon, 4 GHz	23.1	21.8	28.6	27.3	0% to 100% with condensation
With 40°K LNA, dB/K					Solar Radiation
With 60°K LNA, dB/K					360 BTU/h/ft ² (1000 kcal/m ² /hr)
Typical G/T at 30° Elevation, Clear Horizon, 12 GHz					Rainfall Ice (Survival)
With 120°K LNA, dB/K					3 inch (2.5 cm) on all surfaces or 1/2 inch (1.3 cm) on all surfaces with 80 mph (130 km/h) wind gusts
With 180°K LNA, dB/K					Shock and Vibration
Power Handling Capability	10 kW	10 kW	1 kW	1 kW	As encountered during shipment by commercial air, rail or truck
Feed Interface	CPR-2290	CPR-1590	WR-75 Choke	WR-75 Flat	Corrosive Atmosphere
Feed Insertion Loss	0.10 dB	0.15 dB	0.25 dB	0.25 dB	As encountered in coast regions and/or heavily industrialized areas
Port-to-Port Isolation: Tx to Rx	30 dB	30 dB	30 dB	30 dB	Seismic (Survival)
Cross Polarization Isolation: On Axis	35 dB (Typical 40 dB)	30 dB	30 dB	30 dB	Mercalli X
Within 1 dB Beamwidth					
Axial Ratio (Circular Polarization)	1.8 dB (1.23)				
2 Port Tx/Rx					
Sidelobe Pattern Performance					
1st Sidelobe	-14 dB	-14 dB	-14 dB	-14 dB	
Beyond 1st Sidelobe to 48°	32-25 Log 0 dB				
48° to 180°	-10 dB				
Other frequencies available					
Higher power optional					

Specifications and product scalability subject to change without notice

ANTENNA GEOMETRY



MECHANICAL SPECIFICATIONS

Asimuth Travel	120° continuous	Finishes:	
Asimuth Travel Rate	2 0°/second, variable	Reflector Surface	Aluminum panels with heat diffusing white paint
Elevation Travel	5° to 85° continuous	Pedestal	Rod oxide primer, and two coats of enamel
Elevation Travel Rate	1 0°/second, variable	Surface Accuracy	0.020 inch (0.5 mm) Stic
Polarization Travel	± 90°	Foundation Size	8 ft x 8 ft x 1.7 ft (2.4 m x 2.4 m x 0.52 m)
Polarization Travel Rate	1 5°/second	Concrete Volume	4 cubic yards (3.1 m ³)
Weight - Reflector	400 pounds (182 kg)	Reinforcing Steel	405 pc #7s (165 kg)
Weight - Pedestal	550 pounds (250 kg)	Soil Bearing Pressure	2 000 PSF (110 000 kg/m ²)
Shipping Weight (Typical)	2 300 pounds (1 043 kg)		
Shipping Volume	344 cubic feet (9.8 m ³)		





*Single transceiver with
separate LNC*

*Solid state power 2, 4, 8,
and 16 watts*

Standard 70 or 140 MHz IF

Mounting kits for most antennas

Weatherproof in any climate

*Tuning fully synthesized in
1-MHz steps*

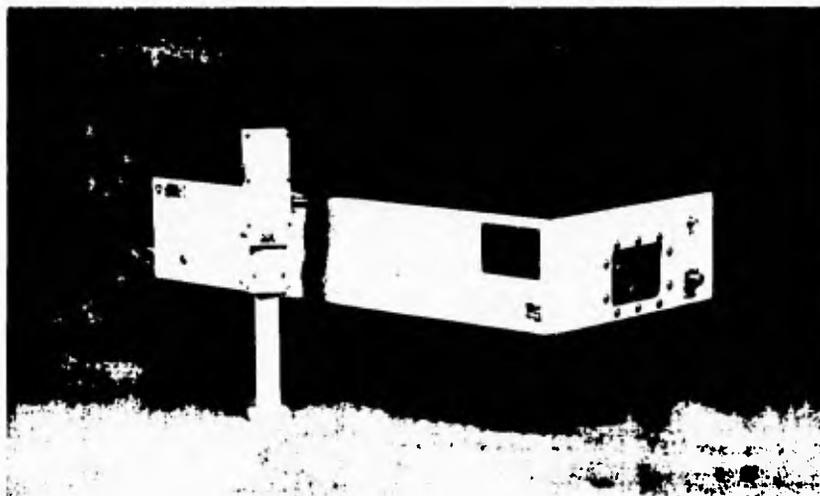
*M&C and 1:1 protection
available*

ASAT S1214 Ku-Band S-Line Satellite Transceivers

SSE Technologies' S1214 Ku-band single unit transceiver offers a compact answer for reliable satellite communications. The S-Line series of transceivers can be used in VSATs, mini-hubs and point-to-point systems.

Included in the single weatherized ODU are the solid state amplifier, driver and power supply. The LNC is separate for easy installation on the antenna feed. The S1214's built-in SSPA comes with 2, 4, 8, or 16 watts. Performance meets or exceeds Intelsat and Eutelsat requirements.

Single piece construction means fast installation with less cabling and less cost. All equipment is sealed to protect sensitive electronic components. Each unit is thoroughly tested in environmental chambers to operate anywhere in the world under the most stressful conditions, ensuring maximum performance and reliability. SSE's modular microwave sub-systems make economical troubleshooting and fast field repair possible. Each unit is covered by a one year warranty on parts and labor.



Specifications



47823 Westinghouse Drive
Fremont, California 94519
(510) 637-7552
Fax (510) 490-8501

3801 E. Florida Ave., Suite 400
Denver, Colorado 80210
(303) 759-4525
Fax (303) 758-8320

9230 Leesburg Pike, Suite 710
Vienna, Virginia 22182
(703) 790-0305
Fax (703) 790-0486

TECHNICAL SUPPORT
& SERVICE CENTER
SSE Singapore PTE LTD
10 Anson Road
#24-05 International Plaza
Singapore 0207
(65) 323 4376
Fax (65) 323 4379



8230 Leesburg Pike, Suite 710
Vienna, Virginia 22182
(703) 790-1517
Fax (703) 790-0486

FREQUENCY SPECIFICATIONS

	Transmit RF (WR-75 Output) (75 Ohm)	Receive RF (WR-75 Input) (75 Ohm)
INTELSAT LB	14.00 - 14.25 GHz	10.95 - 11.20 GHz
INTELSAT HB	14.25 - 14.50 GHz	11.45 - 11.70 GHz
PANAMSAT	14.00 - 14.50 GHz	11.45 - 11.95 GHz
NORAM	14.00 - 14.50 GHz	11.70 - 12.20 GHz
AUSSAT	14.00 - 14.50 GHz	12.25 - 12.75 GHz
EUTELSAT	14.00 - 14.25 GHz	12.50 - 12.75 GHz
Transmit IF	70 MHz ± 18 MHz or 140 MHz ± 36 MHz	
Receive IF	70 MHz ± 18 MHz or 140 MHz ± 36 MHz	
RF LEVELS		
Receiver Input	-82 dBm maximum	
Receiver Output-Compression Point (1 dB)	+7 dBm minimum	
Transmitter Input		
Fixed Gain	-30 dBm ± 4 dB for rated power	
Transmitter Output		
Transmit RF Power @ +25°C		
2 watt	+33 dBm @ 1 dB GCP	
4 watt	+36 dBm @ 1 dB GCP	
8 watt	+39 dBm @ 1 dB GCP	
16 watt	+41 dBm @ 1 dB GCP	
Power Variation Over -40°C to +60°C	± 2.0 dB fixed gain	
	± 0.5 dB AGC option	
Harmonics	-60 dBc maximum	
Spurious	-20 dBc maximum (SSPA)	
RECEIVER GAIN		
Overall Gain at +25°C	85 dB minimum	
Flatness Over Frequency Range (500 MHz)	± 2 dB P-P maximum	
(4 MHz)	0.5 dB P-P maximum	
Gain Stability (-40°C to +60°C)	± 4.0 dB maximum	
RECEIVER NOISE		
Standard 207K LNC	2.3 dB maximum	
Options		
167 K LNC	1.9 dB maximum	
110 K LNC	1.4 dB maximum	
BANDWIDTH (1 dB)		
70-MHz System	36 MHz	
140-MHz System	72 MHz	
VSWR		
Transmitter Output	1.50:1 maximum @ Transmit RF	
Receiver Input	2.50:1 maximum @ Receive RF	
Receiver Output	1.50:1 maximum @ Receive IF	
Transmitter Input	1.50:1 maximum @ Transmit IF	
Receiver Output Monitor	2.00:1 maximum @ Receive IF	
SYNTHESIZERS		
Tuning Step Size	1 MHz over the 500-MHz bandwidth	
Frequency Stability	1 x 10 ⁻⁷ /year maximum	
Phase Noise	-40 dBc max/Hz @ 100 Hz from carrier	
	-70 dBc max/Hz @ 1 MHz from carrier	
	-75 dBc max/Hz @ 10 kHz from carrier, -80 optional	
	-80 dBc max/Hz @ 100 kHz from carrier, -90 optional	
FREQUENCY REFERENCE		
Ageing	± 1 x 10 ⁻⁶ /day	
	± 1 x 10 ⁻⁷ /year	
INTERFACE ELECTRICAL SPECIFICATIONS		
Power Requirement	115 Vac 50-60 Hz, 230 Vac 50-60 Hz, or -48 Vdc	
Total Power Consumption		
2 watt	120 VA	
4 watt	150 VA	
8 watt	260 VA	
16 watt	360 VA	
ENVIRONMENTAL SPECIFICATIONS		
Ambient Temperature Conditions		
Operating	-40°C to +60°C STD	
Storage	-50°C to +70°C	

DATA RACE Product At a Glance

MODEMS

2400 bps
 4800 bps
 7200 bps
 9600 bps
 FAX 9600 bps
 12000 bps Turbo Mode
 14400 bps
 19200 bps
 Async
 Sync
 2-wire dial/leased-line
 4-wire leased-line
 Front Panel Control
 Hayes AT Command Set Compatible
 Auto answer / auto dial
 Auto dial backup / auto restore
 2nd Printer Channel
 MNP 4 Error Correction
 MNP 5 Data Compression
 V.42 Error Correction

	ACTION 24	PC RACE 24	ACTION PC FAX Modem	PC RACE 9600 Modem	ACTION 72 Turbo	ACTION 24 Turbo	ACTION 48 Turbo	RACE 192	RALLY 9600	RALLY 50/192
2400 bps	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4800 bps	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
7200 bps	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
9600 bps	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
FAX 9600 bps			✓	✓						
12000 bps Turbo Mode					✓	✓				
14400 bps					✓	✓				
19200 bps					✓	✓				
Async	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Sync	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2-wire dial/leased-line	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4-wire leased-line					✓	✓				
Front Panel Control	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Hayes AT Command Set Compatible	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Auto answer / auto dial	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Auto dial backup / auto restore					✓	✓				
2nd Printer Channel						✓	✓			
MNP 4 Error Correction	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MNP 5 Data Compression	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
V.42 Error Correction	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

MACH MULTIPLEXERS

Number of input ports
 Speeds per port (Kbps)
 Combined input rate (max) Kbps
 Error control and data compression
 Protocols supported (D-G, WANG, Tandem)
 Modem speeds - internal (Kbps)
 Number of composite links (max)
 Auto dial backup/auto restore
 50/64 Kbps composite links

	4	8	16	24	32	64
Number of input ports	4	8	8-16	24	32	8-64
Speeds per port (Kbps)	19.2	19.2	19.2	19.2	19.2	19.2
Combined input rate (max) Kbps	38.4	76.8	307.2	460.8	614.4	614.2
Error control and data compression	■	■	■	■	■	■
Protocols supported (D-G, WANG, Tandem)	■	■	■	■	■	■
Modem speeds - internal (Kbps)	9.6-14.4	9.6-14.4	9.6-14.4	9.6-14.4	9.6-14.4	9.6-14.4
Number of composite links (max)	1	1	2	4	1	8
Auto dial backup/auto restore	■	■	■	■	■	■
50/64 Kbps composite links	■	■	■	■	■	■