

300 617



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE INGENIERIA
Incorporada a la U.N.A.M.

4
24

**“Guía para la Planeación e Implementación de una
Red de Comunicación Vía Satélite Orientada a
Profesionistas de Diversas Areas”**

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA CON AREA
PRINCIPAL EN INGENIERIA ELECTRONICA**
P R E S E N T A
MANUEL LLACA Y OCHARAN

Asesor de Tesis: Ing. José Antonio Torres Hernández

DICIEMBRE DE 1997

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD LA SALLE

Al Frente Señor:

Manuel Llaca Ocharán

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a Ud. a continuación el tema que aprobado por esta Dirección, propuso como Asesor de Tesis el Señor Ing. José Antonio Torres Hernández, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista con área principal en Ingeniería Eléctrica.

"GUIA PARA LA PLANEACION E IMPLEMENTACION DE UNA RED DE COMUNICACION VIA SATELITE, ORIENTADA A PROFESIONISTAS DE DIVERSAS AREAS

con el siguiente indice:

CAPITULO I	INTRODUCCION
CAPITULO II	ANTECEDENTES Y GENERALIDADES DE LAS TELECOMUNICACIONES
CAPITULO III	DESARROLLO Y CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS SATELITES Y LAS COMUNICACIONES
CAPITULO IV	DISPOSITIVOS DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES VIA SATELITE
CAPITULO V	TECNICAS DE ACCESO Y PARAMETROS IMPORTANTES EN EL DISEÑO DE UNA RED DE COMUNICACION VIA SATELITE
	¿COMO SE DESARROLLA UN CASO PRACTICO?
	CONCLUSIONES
	APENDICES
	BIBLIOGRAFIA
	GLOSARIO

Puede usted tomar debida nota de que en cumplimiento de lo establecido en la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional, así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares, en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

A T E N T A M E N T E
"INDIVISA MANENT"
ESCUELA DE INGENIERIA

México, D.F., a 24 de Abril de 1995


ING. JOSE ANTONIO TORRES HERNANDEZ ASESOR DE TESIS


ING. EDMUNDO BARRERA MONSIVAIS DIRECTOR

A mis padres:

De quienes he conocido el significado de unión y fortaleza; este trabajo es la culminación de todos sus esfuerzos, gracias.

Mamá, a ti que me impulsaste desde pequeño con tu amor y abnegación, me enseñaste a leer y me encaminaste por la vida, gracias.

Papá, me enseñaste con tu ejemplo a ser una persona íntegra en todos los aspectos, a luchar siempre por lo que deseo, gracias.

A mi compañera y amiga:

Midori, siempre me animaste para que terminara esto, gracias. Ahora, hay que mirar hacia adelante, superarnos y lograr nuestras metas, siempre tu y yo.

A mis profesores y amigos:

Por lo mucho que aprendí de ellos, en especial a Jose Antonio Torres que confió en mí para terminar este trabajo y siempre me ofreció su guía y sus consejos, gracias.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	1
CAPITULO UNO	
Antecedentes y generalidades de las telecomunicaciones	4
1.1 México: Antecedentes y generalidades de las telecomunicaciones	10
1.2 México: Crecimiento y modernización de las telecomunicaciones	16
CAPITULO DOS	
Desarrollo y características generales de los satélites y las comunicaciones	25
2.1 Diferentes tipos de comunicación electrónica	25
2.1.1 Medios de transmisión guiados	26
2.1.2 Medios de transmisión no guiados	28
2.2 Evolución de los satélites	31
2.3 Servicios de comunicaciones y tipos de satélites	34
2.3.1 Servicio fijo	35
2.3.2 Servicio móvil	35
2.3.3 Tipos de satélites	36
2.3.4 Descripción y características principales de los sistemas de satélites Morelos y Solidaridad	38
CAPITULO TRES	
Dispositivos de un sistema de comunicaciones vía satélite	47
3.1 Antena	49
3.2 Equipo de transmisión	60
3.3 Equipo de recepción	66
3.4 Multiplexores	70
3.5 Subsistemas auxiliares	72

CAPITULO CUATRO

Técnicas de acceso y parámetros importantes en el diseño de una red de comunicación vía satélite	73
4.1 Técnicas de acceso al satélite	73
4.1.1 Acceso múltiple por división en frecuencia	74
4.1.2 Acceso múltiple por división en el tiempo	78
4.2 Parámetros importantes en el diseño de una red de comunicación vía satélite	81
4.2.1 Atenuación de las ondas	82
4.2.2 Polarización y modificación del plano de polarización	83
4.2.3 Retardo y distorsión del tiempo de propagación	84
4.2.4 El ruido	85
4.2.5 Parámetros característicos de una antena	86
4.2.6 Potencia isotrópica radiada equivalente	89

CAPITULO CINCO

Como se desarrolla un caso práctico	90
5.1 Aspectos generales de planificación de una red de comunicación vía satélite	90
5.2 Dimensionamiento de los canales de la red	94
5.2.1 Medición del tráfico	95
5.2.2 Fórmula de tráfico de Erlang	96
5.3 El enlace de transmisión	98
5.3.1 El cálculo de enlace	99
5.3.2 Medición de errores en la transmisión de datos (BER)	101
5.3.3 Desempeño general del sistema	102
5.4 Aspectos de la instalación de una estación terrena	104
5.4.1 Selección del sitio para una estación terrena y efectos del clima	104
5.4.2 Estudio sobre el terreno (Site survey)	106
5.4.3 Obra civil	108
5.4.4 Orientación de la antena en elevación y azimut	109
Conclusiones	112

APENDICE A	El decibel	115
APENDICE B	Tabla de capacidad de tráfico de Erlang	117
APENDICE C	Valores típicos de margen por lluvia (M_L)	120
APENDICE D	Formato para inspección de sitios (Site survey)	121
	Bibliografía	133
	Glosario	138

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1:	Evolución de las telecomunicaciones	6
Figura 2-1:	Enlace de microondas	29
Figura 2-2:	Sistema de comunicación propuesto por A.C. Clark	32
Figura 2-3:	Módulos y partes de un satélite Morelos	39
Figura 2-4:	Principales módulos de un satélite Morelos	40
Figura 2-5:	Subsistema de antena de un satélite Morelos	41
Figura 2-6:	Cobertura en banda C del sistema Solidaridad	44
Figura 2-7:	Cobertura en banda Ku del sistema Solidaridad	45
Figura 3-1:	Lóbulos de una antena	50
Figura 3-2:	Montaje de antena en elevación-azimut	52
Figura 3-3:	Montaje de antena x-y	53
Figura 3-4:	Montaje de antena tipo polar	54
Figura 3-5:	Antena de alimentación frontal	56
Figura 3-6:	Antena con alimentación descentrada	57
Figura 3-7:	Antena de alimentación tipo Cassegrain	58
Figura 3-8:	Antena tipo bocina	59
Figura 3-9:	Antena tipo Gregorian	60
Figura 3-10:	Antena tipo Torus	61

Figura 3-11: Diagrama de una estación terrena	62
Figura 4-1: Diferentes señales en un solo transponder	74
Figura 4-2: Funcionamiento de un sistema DAMA	75
Figura 4-3: Funcionamiento de un sistema TDMA en transmisión de maestra a remotas	78
Figura 4-4: Funcionamiento de un sistema TDMA en transmisión de remotas a maestra	79
Figura 4-5: Desviación de la señal en la atmósfera	81
Figura 5-1: Topología de la red tipo estrella	91
Figura 5-2: Topología de la red tipo malla	92
Figura 5-3: Intensidad de tráfico de un canal	95
Figura 5-4: Pérdidas en un enlace	100
Figura 5-5: Regiones pluviales de México	101
Figura 5-6: Angulo de elevación de una antena	110
Figura 5-7: Angulo de azimut de una antena	111

LISTA DE TABLAS

Tabla 1-1: Comercialización del Morelos I	16
Tabla 2-1: Bandas de frecuencia utilizables por los satélites	37
Tabla 3-1: Características de los amplificadores de potencia	65
Tabla 3-2: Amplificadores de bajo ruido disponibles en el mercado	69
Tabla 4-1: Ventajas y desventajas de FDMA y TDMA	80
Apéndice B: Tabla de capacidad de tráfico de Erlang	117
Apéndice C: Valores típicos de margen por lluvia (M_1)	120

*I
N
T
R
O
D
U
C
C
I
O
N*

INTRODUCCION

Desde que el 4 de octubre de 1957 fuera lanzado por la U.R.S.S. al espacio el "Iskustvenij Sputnik Zemli" ("Compañero Artificial de la Tierra"), más conocido simplemente como Sputnik 1, no sólo ha pasado más de 35 años, sino que la evolución tecnológica ha sido exponencial, habiendo alcanzado límites insospechados en aquellas fechas.

Lo que ha posibilitado el desarrollo tecnológico desde aquella bola de aluminio de funcionamiento muy simple comparado con los satélites actuales, ha sido el estudio de nuevas aleaciones, nuevas formas de propulsión y sobre todo, la miniaturización de la electrónica; y la consecuencia de todo este progreso para el hombre de la calle ha sido la comunicación vía satélite.

La llegada de este medio de comunicación ha modificado visiblemente la forma de vida de la mayor parte de la población del mundo, y quizá de toda ella aunque sea en forma indirecta. Con él es ahora posible comunicar lugares muy alejados o que previamente eran inaccesibles, y la cantidad y variedad de la información que se transmite y recibe es sorprendente.

Aunque el desarrollo de nuevas tecnologías como lo son las fibras ópticas, presentan un reto a la comunicación vía satélite en lo que eran rutas tradicionalmente conectadas por este medio, como por ejemplo las telecomunicaciones internacionales transoceánicas, lejos de anunciar la desaparición de esta técnica de telecomunicación, han permitido desarrollar mercados nuevos para los cuales los satélites son la mejor opción. Los cambios principales que han ocurrido son la introducción de antenas más pequeñas para servicios nuevos tales como la recepción directa de televisión (DBS), de sistemas de negocios con aperturas muy pequeñas (VSAT), y de terminales de comunicación móviles.

Frases como "Conectamos vía satélite con..." o "Las imágenes recibidas vía satélite de..." se han vuelto comunes en el lenguaje de la televisión, pero además se puede hablar por teléfono a cualquier parte del mundo, aún en el caso de que nos encontremos a bordo de algún medio de transporte ya sea aéreo, marítimo o terrestre, transmitir todas las páginas de un periódico incluyendo fotografías, a un lugar remoto para que se imprima localmente, realizar juntas de trabajo a distancia mediante teleconferencias, transmitir cursos de entrenamiento a zonas urbanas y rurales, efectuar diagnósticos médicos a miles

de kilómetros de distancia, realizar transacciones bancarias y otras muchas actividades que contribuyen a eficientar el desarrollo de la sociedad moderna.

El objetivo del siguiente trabajo es dotar al profesional de cualquier rama que carece de conocimientos en la materia y que enfrenta en determinado momento la necesidad de desarrollar un proyecto de comunicación vía satélite, de las herramientas básicas para realizar un análisis de las necesidades de comunicación y solicitar a los diferentes proveedores sus propuestas para satisfacer dichas necesidades, entendiendo lo que cada uno le propone.

Al principio se aborda la importancia a nivel mundial que las telecomunicaciones han adquirido hoy en día, y a continuación, nos enfocamos hacia México, al desarrollo que ha habido desde el siglo pasado hasta los medios más modernos que se han incorporado a nuestra infraestructura de comunicaciones.

En el siguiente capítulo, se revisan los diferentes medios de telecomunicación existentes, tanto los que se transmiten a través de un cable, como los que lo hacen a través del aire o el espacio. Para finalizar en este capítulo nos concentramos en lo que es materia de este trabajo, es decir, los satélites y la comunicación a través de ellos, empezando por una breve reseña de su evolución y de los diferentes tipos de servicios que ofrecen y terminando con una explicación de los tipos de satélites existentes y en especial de los sistemas de satélites Morelos y Solidaridad.

En el tercer capítulo se revisan los diferentes equipos que integran una estación terrena y se explica su funcionamiento, mientras que en el cuarto se estudian las diversas técnicas con las que un sistema de comunicaciones vía satélite puede acceder a éste y los parámetros básicos que afectan en el diseño del sistema. En el capítulo final se describen los aspectos principales a tomar en cuenta en la planificación de la red, la forma para calcular las necesidades de los futuros usuarios de ésta, los parámetros que influyen en el cálculo de enlace y las principales consideraciones para llevar a cabo la instalación de las estaciones, y su orientación para su puesta en operación.

Debido a que la mayoría de las publicaciones existentes se encuentran dirigidas hacia ingenieros con conocimientos de electrónica y comunicaciones, este trabajo se ha realizado pensando en la necesidad de un documento que explique de manera amigable y entendible a personas que no están familiarizadas con la materia, las ideas básicas para

entender un sistema de comunicación de este tipo y evaluar las verdaderas ventajas de utilizar la comunicación vía satélite contra otros medios de telecomunicación.

U
N
O

Comunicación e información son palabras que hoy pertenecen al lenguaje cotidiano. Comunicar es hacer algo común a dos o más personas. Informar es enterar, dar noticia de una cosa. En comunicaciones, información suele significar conocimientos o datos (mensajes) que permiten ampliar o precisar los que ya se tienen sobre un asunto dado. Son términos que usamos y entendemos en forma intuitiva y cuya creciente importancia es innegable. Sea en cualquier campo, individual o social, quien cuenta con medios para adquirir, administrar y transmitir información en forma eficaz y eficiente tiene una posición ventajosa sobre los demás. Información y comunicaciones cumplen además funciones de gran valor social y económico.

Las diferentes etapas de la historia suelen ser etiquetadas con nombres que pretenden capturar la característica que más las distingue, por ejemplo, las edades del cobre o del hierro, el Renacimiento, la Reforma, la Revolución Industrial. A las sociedades más avanzadas de nuestro tiempo se les ha bautizado como "sociedades de la información" o "del conocimiento" y se habla de que hoy vivimos la "Revolución Electrónica". Nunca antes el hombre manejo tanta información ni dispuso de tantos y tan variados sistemas de comunicaciones; hoy puede escoger desde los medios que aún hacen uso de mensajeros, hasta los que emplean satélites, fibras ópticas o redes de teleinformática.

Si bien la necesidad y conveniencia de transmitir información a distancia han estado presentes desde tiempos remotos, no siempre se han sentido con la misma intensidad o urgencia. La industrialización, acompañada de importantes procesos migratorios del campo a la ciudad y del crecimiento de grandes centros urbanos, se caracteriza por la producción y transferencia masiva de bienes; por ello las sociedades industriales dependen básicamente del desarrollo de medios y sistemas de transporte que acerquen a los medios de producción y de consumo entre sí. En la segunda mitad de este siglo los países industrializados con mayor desarrollo económico han experimentado un crecimiento considerable de sus sectores de servicios. En ellos, sin dejar de ser importante el tráfico de personas y bienes, son cada vez más estratégicas la información y su transferencia rápida de un lugar a otro; esto es, las TELECOMUNICACIONES. En el mundo de hoy conviven países con características de tres tipos.

Algunos países en desarrollo apenas están iniciando su industrialización; otros han recorrido ya parte del camino y cuentan con una base manufacturera no despreciable. Junto a ellos, los países económicamente más desarrollados se han convertido en sociedades de la información. Por esta razón, se explica que entre esos países haya diferencias en la intensidad de uso de los distintos sistemas de comunicación disponibles.

Las formas y los medios que el hombre ha inventado y empleado para comunicarse siempre han estado íntimamente relacionados con el desarrollo económico, sociocultural, político, científico y tecnológico de la humanidad. El primer sistema que se aplicó en forma generalizada para transmitir información (mensajes escritos) a larga distancia y en forma coordinada y organizada fue el postal. Implantado hace algunos siglos, todavía perduran sus principios básicos en nuestros días, aunque los medios empleados para transportar las cartas y los paquetes han cambiado. Durante un largo e importante período de la historia, el correo no tuvo rival como medio de comunicación. Se requirió que el hombre descubriese, entendiéndose y aprovechase muchos fenómenos elementales de la física, para que surgiesen sistemas competidores del postal. Así, fue apenas durante el siglo pasado cuando los avances tecnológicos logrados dieron origen primero al telégrafo y posteriormente al teléfono. Este último, por sus características de velocidad, confiabilidad, bidireccionalidad y privacidad, fue ganándole terreno a los demás medios y convirtiéndose en el sistema hoy predominante en la mayor parte de los países. En nuestro siglo se han llevado a cabo gran número y variedad de opciones adicionales de comunicación. Entre los sistemas punto a punto tenemos el télex, los servicios de facsimil, videotelefonía, correo electrónico, telefonía celular, redes de computadores e informática, sistemas de comunicación vía satélite o fibras ópticas, etc. Por otra parte se han llevado a cabo en forma paralela sistemas de comunicación punto-multipunto como la radio y la televisión. Muy recientemente algunos países han implantado ya experimentalmente redes digitales con servicios integrados y con una infraestructura importante de cables (coaxiales y fibras ópticas) que permiten emplear enormes anchos de banda en la transmisión de información.

Enseguida, se encuentra una gráfica cronológica (Fig. 1-1) en donde se puede observar el desarrollo de las diferentes formas y sistemas de comunicación que se han utilizado desde la invención del telégrafo hasta nuestros días.

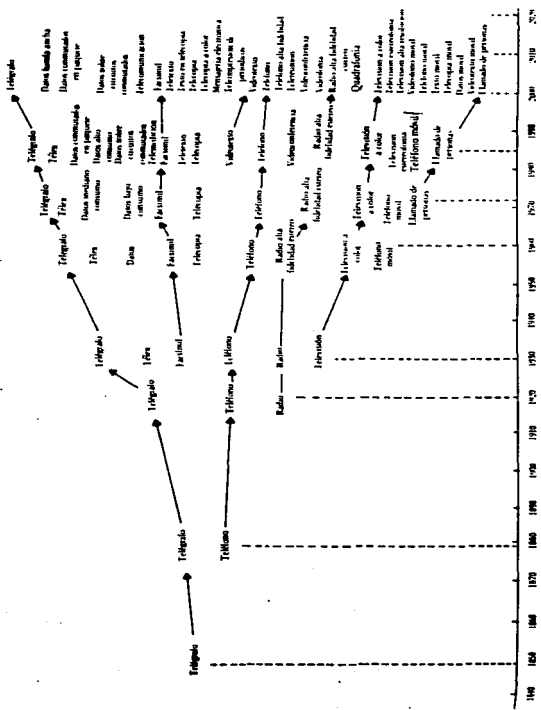


Figura 1-1

La infraestructura que sostiene a los sistemas de comunicación actuales es relativamente nueva, pues no tiene más de cien años la mayor parte de ella. La primera línea telegráfica se tendió en 1844; el primer cable submarino para telegrafía alámbrica entre Europa y América en 1866: 1852 millas de cable que enlazaban Irlanda con la costa oriental de Norteamérica que iniciaron una era de comunicación permanente entre los dos continentes. El teléfono se inventó en 1876 y la primera central telefónica comercial (manual) se puso en marcha dos años después, hecho que coincidió con la invención del micrófono. El telégrafo inalámbrico se inventó en 1874 y sus primeras pruebas se hicieron en 1895. Los sistemas de conmutación telefónica automática empezaron a implantarse en 1889. La radiodifusión comercial se inició apenas en la década de 1920 y las primeras transmisiones públicas de televisión se realizaron alrededor de 1930. El primer cable telefónico transoceánico se tendió en 1956, un año antes del lanzamiento del primer satélite y nueve años antes de la puesta en órbita del primer satélite geostacionario para comunicaciones. Otros sistemas son más recientes todavía.

El desarrollo de las telecomunicaciones en los últimos 150 años puede contemplarse como una sucesión de tres grandes etapas tecnológicas, aunque las fronteras temporales de éstas no están nítidamente marcadas y existen entre ellas traslapes importantes, habiendo en nuestros días productos de las tres. Dichas etapas son: a) la edad del cable; b) la edad de la transmisión inalámbrica; c) la edad de las redes digitales integradas en servicios. En cada etapa se han ido reduciendo los tiempos de comunicación (se ha incrementado la velocidad de transmisión) y una mayor independencia o libertad para el usuario.

Para cada aplicación específica, la preferencia de un sistema de comunicación sobre otro depende de muchos factores. Además de la velocidad de transmisión (urgencia requerida para la comunicación) los usuarios toman en cuenta el costo, la confiabilidad y la calidad de prestación del servicio, la privacidad del mensaje, o el número de diversos "enlaces" que es posible establecer (y que dependen a su vez de características de la red existente, tales como su dimensión, su topología y su conectividad interna y externa).

Sobre la oferta y la demanda de comunicaciones de un país influyen, entre otros, los siguientes factores: a) los precios y tarifas de los servicios; b) la distribución del ingreso entre la población y la proporción de los gastos en comunicaciones con relación al total de los gastos familiares; c) la medida en que el servicio es regulado, controlado y/o prestado por el sector público, en particular las acciones gubernamentales legislativas, de

carácter tarifario, subsidios y demás; d) las inversiones públicas y privadas en el sector, anuales y acumuladas; e) la infraestructura disponible en otros servicios en los que se apoyan algunos de los de comunicaciones; f) la estructura tecnológica y la existencia de recursos humanos capacitados; g) la fortaleza o debilidad de la industria local de bienes de capital para las comunicaciones; y h) el nivel de educación de los usuarios.

Hasta fines del siglo pasado los países con mayor infraestructura de transportes tenían y ejercían el poder. En el siglo XX, en particular desde las décadas de 1930 y 1940, las comunicaciones empezaron a competir con los transportes como elemento para obtener la supremacía. Como consecuencia se desató una acelerada carrera por lograr el liderazgo en las comunicaciones, misma que ha seguido intensificándose. La competencia tecnológica internacional para desarrollar nuevos sistemas y servicios de comunicaciones cada vez más eficientes, rápidos, confiables y baratos, y con mayor capacidad para transferir información, forma parte importante de esa carrera. Como resultado de todo ello, la calidad de los servicios ha mejorado enormemente tanto en volumen de información manejado, como en velocidad de transmisión, tarifas, confiabilidad y disponibilidad. La continua mejoría ha sido posible gracias al desarrollo tecnológico en electrónica, computación y comunicaciones en general, acompañado por avances en otras áreas afines, tales como cibernética, ciencia de materiales, óptica, automatización y tecnología espacial.

En forma paralela se han dado también cambios económicos y sociales que han introducido nuevas necesidades de comunicación como la transnacionalización de la economía y la cultura, la mayor movilidad tanto de personas como de bienes, el incremento de flujos de capital y la terciarización general de las economías, así como el proceso mundial generalizado de urbanización.

Las estructuras sociales, demográficas y económicas de los países en desarrollo son distintas de las existentes en los desarrollados y ello influye en la demanda de servicios de comunicación de cada uno de ellos.

La información es uno de los insumos requeridos por los procesos productivos; incluso puede considerarse uno más de esos factores de producción, al igual que los combustibles o las materias primas. Y tal como ocurre con éstos últimos, no todos los procesos productivos usan la información con la misma intensidad. Es lógico esperar que las diferencias existentes entre los distintos países en cuanto a la composición de su producto

nacional bruto, en la localización de sus centros de producción y de consumo (incluidas las características geográficas), etc., se reflejan también en diferencias en la demanda de servicios de comunicación. De igual manera, es evidente que las características demográficas de un país influirán sobre su demanda de comunicaciones.

Cada país ha seleccionado y adoptado los sistemas y servicios que mejor satisfacen sus necesidades, con las limitantes que le imponen sus prioridades de desarrollo y la disponibilidad de recursos financieros. Ante la escasez de estos últimos, aún en los países en desarrollo más avanzados existen demandas insatisfechas de servicios (por ejemplo, solicitudes de líneas telefónicas no atendidas).

Como consecuencia de todo lo anterior, hoy existen grandes diferencias entre los países en cuanto a la oferta de servicios de comunicaciones, que si bien se derivan esencialmente de los menores recursos financieros de que disponen los países en desarrollo, también están influidas por su menor nivel educativo y tecnológico, una base industrial más débil, sobre todo en bienes de capital, un muy rápido crecimiento demográfico, un más acelerado proceso de urbanización, y una peor distribución de la riqueza, tanto entre centros urbanos y rurales, como entre segmentos de la población. Por tanto, existe en general una correlación importante entre el nivel de desarrollo económico y la cantidad y calidad de la infraestructura existente. Esto no implica que se trate de una relación causal. Más bien parece que la interacción ocurre en ambas direcciones y no siempre es directa. A mayor infraestructura de comunicaciones existen mayores posibilidades de desarrollo económico y, a la inversa, cuanto mayor es el desarrollo económico, mayor posibilidad habrá de mejorar la infraestructura de comunicaciones. Siendo esto cierto, los países en vías de desarrollo podrían estar en un callejón sin salida.

Su escasez de recursos financieros y económicos limita sus posibilidades de alcanzar un ritmo deseable en el crecimiento de su infraestructura de comunicaciones. Ello a su vez retarda el desarrollo económico y limita lo financiero, cerrando así un círculo que subraya y fortalece el subdesarrollo. En estas condiciones parece difícil que la brecha existente entre los países se cierre, sobre todo cuando el financiamiento externo de los países menos desarrollados ha alcanzado ya valores muy elevados, que parecen límite, y las condiciones económicas generales del mundo son suficientemente duras como para pensar que no habrá una importante transferencia real de recursos del norte al sur en la próxima década o aún más allá. Para reducir la brecha existente entre los países de uno y otro grupo sería necesario no sólo que las tasas de crecimiento de los servicios de

comunicaciones de los países menos desarrollados fuesen mayores que las de los industrializados, como ha venido ocurriendo en los últimos años, sino que además la diferencia entre unas y otras fuese suficientemente amplia como para compensar la que existe en las tasas de crecimiento demográfico en favor de los países en desarrollo.

A pesar de lo dicho, si se enriqueciese con las experiencias adquiridas por países con mayor desarrollo económico y las matizara con las restricciones impuestas por su situación, México sin duda puede aspirar a ofrecer servicios de comunicación con la variedad y calidad requeridas. Sin embargo para ello tendrá que realizar inversiones muy importantes con el fin de crear la infraestructura necesaria, en una época de escasez de recursos económicos y financieros.

En el futuro, para poder satisfacer sus cambiantes necesidades de comunicación, México deberá definir una estrategia global de desarrollo de su infraestructura que incremente la eficacia y eficiencia con que asigna sus escasos recursos, procurando identificar los campos y formas en que éstos fueran más rentables. Para ello es indispensable que se intente imaginar la posible demanda, los cambios tecnológicos y la disponibilidad de recursos que podrían presentarse en el futuro.

1.1 México: Antecedentes y generalidades de las telecomunicaciones

A pesar de la enorme importancia del correo para satisfacer necesidades de comunicación a distancia, el servicio postal ha sido excluido de este panorama de la evolución de las telecomunicaciones en México, porque para elaborarlo se ha adoptado el criterio de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), según el cual "telecomunicación es toda forma de transmisión, emisión o recepción de signos, señales, escritos, imágenes, sonidos o informaciones de cualquier naturaleza, por hilo, radioelectricidad, medios ópticos u otros sistemas electromagnéticos".

El 5 de noviembre de 1851, por hilos, alambres de hierro tendidos sobre postes de madera a lo largo de los 180 kilómetros que separan la ciudad de México de la población de Nopalucan en el estado de Puebla, viajaron las señales, en forma de impulsos eléctricos. Esta transmisión telegráfica fue inaugurada por el presidente de la República, general Mariano Arista. La concesión para operar esos primeros servicios de telecomunicaciones, que utilizaron la innovación tecnológica denominada telégrafo eléctrico o electromagné-

tico. fue otorgada a don Juan de la Granja, empresario a quien corresponde el mérito de haber logrado que México dispusiera de comunicación telegráfica apenas seis años después de inaugurarse el servicio en la Unión Americana y a cinco de haberse establecido en Francia.

En esa época, la nación mexicana poblada por alrededor de ocho millones de habitantes, desconocía la paz, la unidad y el progreso económico. Dada la situación, constituyó una proeza que los concesionarios del servicio teleográfico hayan conseguido extender la línea México-Nopalucan hasta el puerto de Veracruz en tan sólo un año siete meses, con lo que los mensajes podían cursarse a una distancia de 408 kilómetros en mayo de 1853 y, en ese mismo año, inaugurada la línea México-Guanajuato, los habitantes de estas poblaciones dispusieron también del servicio.

Un año después, 50,000 telegramas se transmitían por 608 kilómetros de hilos y el crecimiento continuó no con gran celeridad, pero en forma consistente; durante la década de 1870, unos 20 años después de haberse introducido la innovación al país, el telégrafo disponía ya de 8,000 kilómetros de líneas por las que se transmitían alrededor de 222,000 mensajes.

Ya para entonces, el telégrafo había demostrado ser un medio imprescindible para la transmisión-recepción de mensajes breves, con la ventaja de que éstos llegaban al destinatario en menor tiempo que la correspondencia.

La radiotelegrafía, innovación que se introdujo al país en 1902 y que permite prescindir de los cables al utilizar como medio de transmisión las ondas electromagnéticas, cobra auge en México a partir de 1910, 25 años después de su aparición en el mundo. Ello contrasta con el breve lapso de dos años que medió entre la primera conferencia telefónica de larga distancia que sostuvo el inventor del teléfono, Alejandro Graham Bell, entre Boston y Salem, realizada el 10 de marzo de 1876, y el primer enlace telefónico en territorio mexicano entre la ciudad de México y Tlalpan, que tuvo lugar el 13 de marzo de 1878.

La red telefónica mexicana, que en sus inicios sólo abarcó las seis comisarías de policía, la Inspección General, la oficina del gobernador de la ciudad de México y el Ministerio de Gobernación, amplió en 1881 su cobertura a varias zonas de la capital de la República. Los progresos de la telefonía incluyeron una primera conferencia telefónica internacional

entre interlocutores situados en Matamoros, Tamaulipas y Brownsville, Texas, en 1883, y la provisión del servicio a 800 suscriptores en 1888 y 1 110 en 1890. Sin embargo, en aquel tiempo sólo se disponía de un aparato telefónico por cada 10,000 habitantes. Por su parte, el telégrafo continuó su desarrollo alcanzando una longitud cercana a los 34,000 kilómetros en 1891. Ese año, se cursaron 1'02,000 mensajes. En 1899 la red telegráfica alcanzó los 46,487 kilómetros.

Al auge de las actividades productivas, del comercio y de la economía en general, registrado de 1880 a 1910, correspondió también un crecimiento considerable de la oferta y la demanda de los servicios telegráficos y telefónicos.

En el período 1910-1920, la transformación revolucionaria del país involucró numerosos hechos de armas y el uso de la comunicación telefónica y en particular de la telegráfica en las campañas militares de los bandos en pugna, así como la destrucción o reconstrucción de las líneas por razones estratégicas y tácticas; pero ello no fue obstáculo para que en las tareas de reconstrucción se intensificara la sustitución de los alambres de hierro por los de cobre, más resistentes a la oxidación.

En 1910, el país disponía de casi 12,500 aparatos telefónicos y 14 años después se inauguró la primera central automática. A partir de la segunda mitad de la década de los veinte, los sistemas telefónicos de interconexión manual, por operadora, fueron progresivamente sustituidos por los automáticos, cuya capacidad llegaba a ser 90 veces mayor que la de los primeros.

Asociado a este desarrollo, se iba configurando el sistema nacional de telecomunicaciones, basado en las redes y servicios de comunicación telegráfica y telefónica. Con el fin de normar una actividad cuya trascendencia para la sociedad era cada día más evidente, el Estado mexicano expidió en 1940 la Ley de Vías Generales de Comunicación que incluía las redes telegráficas y telefónicas y establecía que toda vía de comunicación era de utilidad pública, por lo que su construcción, establecimiento y operación, así como los servicios conexos, requerían de concesión o permiso del Ejecutivo Federal, por conducto de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas.

De 1930 a 1982, debido entre otros factores, a la dinámica demográfica, al incremento de las actividades productivas y al explosivo proceso de urbanización, la oferta y la demanda del servicio telefónico mantuvieron una tendencia de notable crecimiento, sin que esto

quiera decir que la demanda fuera totalmente satisfecha. La tasa de crecimiento promedio anual en este período fue de 8.3 por ciento, disponiendo México en 1930 de casi 100 mil aparatos en servicio y en 1982, de poco menos de seis millones.

Aunque en menor medida, los indicadores principales del servicio telegráfico en el mismo período (1930 - 1982) registraron también un crecimiento importante. La tasa de crecimiento promedio anual del número de administraciones telegráficas fue de 2 por ciento y la del de administraciones radiotelegráficas de 1.4 por ciento. Respecto al número de mensajes transmitidos, el total en 1930 ascendió a alrededor de 6.3 millones, mientras que en 1982 alcanzó casi 58 millones.

A partir de 1957, el télex se integró a los servicios de telecomunicaciones disponibles en el país. Al télex, se le denomina también telégrafo domiciliario, pues conecta equipos teleimpresores instalados en los domicilios de los usuarios, con teclado alfanumérico, capaces de enviar y recibir mensajes cuyas señales se transmiten mediante las corrientes portadoras de las líneas telefónicas.

Este servicio, tuvo su auge en las décadas de los sesenta y los setenta, como lo muestra el que en 1960 hubiera en el país 21 centrales de télex y 480 líneas de conexión instaladas, y que para 1980 su número se hubiera incrementado hasta alcanzar 64 y 11,477, respectivamente.

Los principales usuarios de este servicio disponible en todas las ciudades importantes, han sido empresas y organismos públicos de carácter industrial y comercial. Desde 1980, la demanda de servicios de transmisión mediante télex y el volumen de tráfico cursado por él registraron escaso incremento, hasta llegar al estancamiento e incluso al descenso, debido a la creciente migración de usuarios a nuevos servicios de telecomunicaciones con mejores condiciones de eficiencia, rapidez, confiabilidad y menores costos. Entre estos nuevos servicios se encuentra el fax o facsimil, cuya introducción en México se llevó a cabo a mediados de los ochenta y que, como en todo el mundo, ha registrado un incremento notable por su tasa de expansión, el volumen de mensajes cursados, el número de abonados al servicio y la acelerada producción de terminales, aunado a la gradual disminución del costo de los equipos.

Pero no sólo la llegada del fax, sino el de otras innovaciones al mercado mexicano de telecomunicaciones en la década de los ochenta, explican que los usuarios aprendieran a

usar combinaciones de medios que incluyan el télex, el fax, el teleprocesamiento de datos, el uso de redes que integran el binomio "C & C" (Communications and Computers), equipos de informática, conexión con bancos de información especializada dentro y fuera del país, y correo electrónico para transmitir mensajes a destinatarios próximos o remotos, que con sólo encender su computadora y hacer presente su clave tienen acceso a ellos en la pantalla de su terminal.

Por otra parte, dentro de los medios de telecomunicación también se encuentran la radio y la televisión, considerados como medios punto-multipunto: un emisor difunde, en forma simultánea a través del espectro radioeléctrico, el mismo mensaje a un conjunto de receptores ubicados en puntos diversos, sin que éstos tengan posibilidad de comunicarse a las emisoras por el mismo medio.

En la historia de la radio en México, los cinco primeros años de la década de los veinte son su período inaugural, iniciando sus transmisiones dos radiodifusoras. El período inicial de la radio se caracterizó por la rápida proliferación de estaciones; durante el período 1928-1930 su número pasó de 17 a 32. En 1935 el país disponía de 71 estaciones radiofónicas, y en 1946, de 240.

En 1948 había en el país unos 700 mil aparatos de radio, es decir 2.87 radioreceptores por cada 100 habitantes y alrededor de 250 estaciones. En 1989, 41 años después el número de emisoras era de 988 y su cobertura abarcaba el 90 por ciento del territorio nacional. Hasta el inicio de los años cincuenta, la mayoría de las estaciones transmitían en amplitud modulada. En 1952 comenzó a utilizarse en forma creciente la frecuencia modulada, que permite reducir los ruidos e interferencias en beneficio del radioescucha.

Por su parte, la televisión se inicia en México con una etapa de experimentación que va de 1930 a 1950, cuando se otorga la primera concesión para operar la estación XITV-Canal 4. Posteriormente, en 1951 comenzó a operar la XEWTV-Canal 2 y en 1952, XHGCTV-Canal 5.

La televisión mexicana, que en esos años constituyó una innovación al alcance de pocos, ha desempeñado a lo largo de poco más de 40 años un papel primordial en la vida política, social, cultural y económica del país. A fines de 1989, México disponía de 567 estaciones cuya cobertura abarcaba al 70 por ciento de la población.

En el ámbito de la transmisión de señales, la incorporación del sistema de microondas constituyó un progreso importante para el país. A principios de los años cincuentas, el gobierno mexicano adquirió los primeros equipos y realizó numerosos experimentos. El sistema permitía la transmisión de señales de televisión, de voz (telefonía) y telegrafía. Era apto para conducir las en volúmenes mayores que los de las líneas físicas existentes, y por utilizar el espectro radioeléctrico requería sólo de estaciones repetidoras ubicadas a 50 kilómetros de distancia entre sí en terrenos planos. Aunado a este menor requerimiento de infraestructura, las microondas daban una mayor calidad al proceso de emisión, transmisión y recepción.

El éxito obtenido alentó al gobierno federal para expandir la red, modernizarla con equipos transistorizados que acrecentaron su capacidad y finalmente de 1967 a 1968, para acelerar la ampliación de su cobertura hasta abarcar todo el territorio nacional.

La Red Federal de Microondas, llegó a conducir a fines de los ochenta y principios de los noventa, el 30 por ciento del tráfico telefónico nacional; junto a ella, se desarrollaron las redes de microondas de Telmex y de Petróleos Mexicanos, que están al servicio exclusivo de estas empresas, con autorización de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

En el período 1976-1982, el extraordinario crecimiento de la demanda para canalizar señales por microondas saturó la red federal, y aunque se realizaron trabajos para modernizar equipos, hacer más eficiente su uso, ampliar su capacidad y expandir su cobertura, tales medidas fueron insuficientes. Por ello, el gobierno federal optó por encargarse de la construcción de los satélites domésticos geostacionarios Morelos I y II, para acrecentar la disponibilidad de los servicios de transmisión de señales, descargar la red de microondas y aprovechar la aptitud de la tecnología satelital para la provisión eficiente de servicios de telecomunicaciones en países que, como México, tienen territorio vasto, numerosas poblaciones dispersas y geografía accidentada.

Puestos en operación a fines de 1985, los Morelos han contribuido a mejorar la calidad, ampliar la cobertura y la capacidad de transmisión, así como a diversificar y hacer más eficientes los servicios del sistema nacional de telecomunicaciones: telefonía, teleaudición para la radio, télex, telegrafía, televisión, transmisión de datos y teleproceso, tanto en zonas rurales como urbanas. Asimismo, los Morelos permitieron disponer de más y mejores enlaces de comunicación con otros países.

Estos logros coexistieron con la incapacidad para aprovechar adecuadamente el Sistema de Satélites Morelos, que permaneció subocupado de 1985 a 1989 por impedimentos derivados de una reglamentación restrictiva en relación a la necesaria expansión del segmento terreste, es decir, por trabas para la instalación de las estaciones terrenas requeridas para enviar al satélite señales y recibirlas en el territorio nacional, por parte de bancos, empresas, instituciones de educación e investigación y particulares.

También fue determinante en su subocupación la carencia de recursos del gobierno federal para invertir en este rubro. sin embargo, a partir de 1989 se dio una explosión dentro del campo de las comunicaciones vía satélite en México al otorgar los permisos la Secretaría de Comunicaciones y Transportes para la instalación de redes de comunicación vía satélite privadas, siendo actualmente insuficiente la capacidad con que cuentan los satélites Morelos para soportar la demanda existente en el país. Por lo anterior y debido también a que el Morelos I llega al término de su vida útil en 1994, se adquirió la siguiente generación de satélites mexicanos llamados Solidaridad y cuyo primer satélite será puesto en órbita en noviembre de 1993.

La comercialización del Morelos I para 1991, era como se muestra a continuación en la siguiente tabla (Tab.1-1).

Comercialización del Morelos I (1991)	
Servicio	Ocupación %
Voz digital	32.3
Tv Comercial	23.2
Telefonía Pública	19.2
Tv Ocasional	5.8
Tv Educativa	3.3
Tv Estatal	2.8
Radio	2.4

Tabla 1-1

1.2 México: Crecimiento y modernización de las telecomunicaciones

En la década de los ochenta, la economía mexicana padeció una severa depresión, producto de factores externos e internos: descenso de las reservas internacionales; alto déficit fiscal; dedicación de crecientes recursos al cumplimiento de los compromisos

derivados de una cuantiosa deuda externa; reducción de la inversión pública y privada y de las actividades productivas; fuga masiva de capitales; altas tasas de inflación; subempleo y desempleo, y disminución del poder adquisitivo de la moneda, entre otros. La situación afectó en forma muy negativa al sistema de telecomunicaciones, pues se careció de recursos para acrecentar, diversificar y modernizar los equipos existentes.

En febrero de 1989, un diagnóstico del sistema de comunicaciones identificaba los principales problemas, necesidades y obstáculos. El documento asentaba que no sólo era urgente acrecentar la disponibilidad de los servicios para afianzar el crecimiento económico y el desarrollo social, sino también su calidad mediante la incorporación de innovaciones tecnológicas que, por falta de recursos, el país se había visto impedido de adoptar, con la consecuente obsolescencia relativa de su infraestructura y sus equipos. A esta deficiencia se añadía el haber aprovechado por debajo de su capacidad medios técnicos de los que México disponía, como era el caso del sistema de satélites Morelos, que estuvo subocupado durante cuatro años.

Era notorio, que la obsolescencia de las redes de microondas y el no haberles dado el mantenimiento requerido, ocasionaba deficiencias técnicas que limitaban la expansión del servicio telefónico. Este, que entonces tenía 4.9 líneas por cada 100 habitantes, ocupaba por este indicador el lugar número 82 en el mundo, mientras que por el tamaño de su economía correspondía al país el decimocuarto lugar mundial. Tal desproporción indicaba la magnitud del rezago en este servicio básico de telecomunicación.

En la década de los setenta, la tasa promedio de crecimiento de la red telefónica había sido de 14 por ciento anual; en el período 1983-1988 la tasa cayó al 6 por ciento anual y se rezagó la atención a la demanda. La telefonía rural, cubría sólo el 30 por ciento de las poblaciones de entre 500 y 2500 habitantes y, por su parte, los teléfonos públicos, cuyo número ascendía a 40,000, eran insuficientes para alrededor de 80 millones de mexicanos.

Teléfonos de México, constituida en 1948 al fusionarse Teléfonos Ericsson y la Compañía Telefónica Mexicana, en 1958 dejó de ser propiedad mayoritaria de extranjeros para serlo de mexicanos, y en 1972 el gobierno federal adquirió el control del 51 por ciento de las acciones de la empresa. Esta condición en la década de los ochenta, obstruyó su expansión, pues Telmex se vio limitada por la incapacidad del gobierno federal para conseguir recursos mediante el crédito o para reinvertir las utilidades. Además, la

empresa telefónica fue incapaz de generar recursos suficientes para financiar su propia modernización y expansión, debido en buena parte a su inadecuada estructura tarifaria.

Respecto a la transmisión de datos en paquete por la red pública Telepac, los principales impedimentos para satisfacer la demanda eran la saturación en la capacidad de memoria del centro de control de la red, ubicado en la ciudad de México, y su reducida cobertura que en 1988 abarcaba sólo 23 ciudades, además de que su infraestructura tenía un rezago estimado de cinco años.

En el caso de la red nacional de télex, las limitantes principales para aprovechar adecuadamente la capacidad instalada eran la escasez de líneas telefónicas privadas y la saturación u obsolescencia de varias centrales. Además, la demanda de este servicio se había mermado por la migración de usuarios a otros servicios como el facsímil, el teléfono y la transmisión de datos.

Infonet, sistema público de tele-informática y procesamiento remoto de datos conectado a una red mundial, frenó su expansión y no pudo mantener niveles adecuados de mantenimiento, por carecer de los fondos de inversión que requería para acrecentar la continuidad y calidad exigida por los usuarios. Los Servicios de Telereservaciones, Sertel, que al igual que Infonet se inauguraron en 1980, dedicados al servicio de un segmento del mercado nacional (las dos aerolíneas nacionales), se mantenían alestargados y carecían de la adecuada modernización.

Los servicios de transmisión de datos dependientes de la SCT no cubrían la demanda y eran de baja calidad. A principios de 1989, nuevos servicios como el videotexto, el teletexto, el correo electrónico, la videoconferencia, la videotelefonía, la telemetría y la telesupervisión, tenían en México un desarrollo embrionario. Otro tanto puede decirse del servicio de radiotelefonía móvil, con apenas 10 mil abonados y una cobertura inferior al 60 por ciento del área de la ciudad de México.

El telégrafo seguía siendo un medio con amplia demanda entre la población de escasos recursos, al que acudían para la transmisión de mensajes y la transferencia de fondos. Sin embargo, la calidad del servicio era tan baja y su automatización tan escasa, que su atraso tecnológico y operativo se calculaba en diez años.

Aunado a ello, a fines de los ochenta el marco regulatorio y administrativo de los servicios de telecomunicaciones, ante el acelerado avance tecnológico y el extraordinario crecimiento de la demanda, había quedado obsoleto en áreas importantes, convirtiéndose en un impedimento para la modernización y el desarrollo de la infraestructura, y en un obstáculo para la prestación de nuevos servicios, al limitar y desalentar la participación de los sectores social y privado en estas actividades.

Al concluir el foro de consulta popular sobre comunicaciones, en el que participaron todos los sectores del país, se recogieron aportaciones consistentes. Destaca, la de que los esquemas de financiamiento para la expansión de la infraestructura y los servicios de telecomunicaciones deberían incluir a la inversión privada.

También se observa la necesidad de establecer una concertación inmediata entre la empresa y el sindicato, para que Telmex lograra su modernización administrativa y tecnológica, condición indispensable para que empresarios y trabajadores cumplieran su obligación de prestar un servicio eficiente al público.

Las deficiencias, quedaron establecidas, por lo que trabajadores, administradores, técnicos, las autoridades, los inversionistas y los usuarios pusieron manos a la obra para enfrentarlas. El reto consistía en modernizar el sistema nacional de telecomunicaciones. La administración pública fijó políticas y estableció prioridades; definió objetivos, estrategias y metas; cuantificó el monto de las inversiones que se requerían, y elaboró el Programa Nacional de Modernización de las Telecomunicaciones 1990-1994.

Disponer en el corto plazo, de más y mejor infraestructura y servicios de telecomunicaciones era indispensable tanto para sustentar sobre bases firmes el desarrollo del país, como para que éste se integrara en condiciones adecuadas a una comunidad internacional en creciente competencia e interdependencia. La inversión requerida para el período 1989-1994, según estimación de la Subsecretaría de Comunicaciones y Desarrollo Tecnológico, era de 13.5 miles de millones de dólares.

La aplicación de la nueva política implicó un cambio estructural en la administración pública de las telecomunicaciones, la modernización del marco regulatorio, la privatización de Telmex y el gradual mejoramiento de la mayoría de los servicios, así como también, la consecución de avances importantes en la participación de los

inversionistas privados en la superación de rezagos y en la incorporación de nuevas tecnologías.

En sólo dos años se otorgaron a los particulares permisos para instalar estaciones terrenas y desarrollar redes privadas vía satélite y telepuertos para servicio al público, en número suficiente para aprovechar el 100 por ciento de la capacidad del sistema de satélites Morelos. Además se llevó a cabo la desincorporación de Telmex. También en 1989, Telmex logró recuperar su tasa de crecimiento, que se situó en 10 por ciento, en contraste con el promedio de 6 por ciento conseguido en los seis años anteriores. Asimismo, se impulsó la telefonía rural, lo que permitió incorporar al servicio mil localidades de entre 500 y 2,500 habitantes.

Otra de las medidas importantes que contribuyeron a fortalecer el sistema nacional de telecomunicaciones, fue la invitación pública hecha el 6 de noviembre de 1989 a inversionistas privados para que presentaran solicitudes de instalación, operación y explotación comercial del servicio de telefonía móvil con tecnología celular.

Para profundizar la reestructuración, ese mismo mes se creó Telecomunicaciones de México, Telecomm, al fusionarse la Dirección General de Telecomunicaciones y Telégrafos Nacionales.

Al nuevo organismo se le dio la responsabilidad de prestar los servicios públicos de telegrafía, radiotelegrafía, giros telegráficos, télex, telefax y correo electrónico, además de instalar, conservar, operar y explotar la red de estaciones terrenas y el sistema de radiocomunicación satelital que ofrece servicios públicos de conducción de señales por satélite y arrendamiento de circuitos dedicados para redes privadas por satélite.

En el ámbito de la radiodifusión, el año de 1989 marcó el vencimiento de las concesiones de gran número de frecuencias del espectro radioeléctrico. Por ello, se procedió al refrendo de concesión de 465 estaciones, las cuales contrajeron la obligación de mejorar su programación, como lo estipulaban los títulos que incluyeron esta reforma en beneficio de radioescuchas y televidentes. Por su parte, la televisión que llega por cable a los suscriptores se incrementó al autorizarse seis nuevos sistemas, con lo que en 1989 el país disponía de 89 en operación.

También ese año se autorizaron los primeros dos sistemas de difusión de señales restringidas por televisión, que operan mediante suscripción y requieren que el usuario disponga de antena y decodificador especiales para captar la señal.

En 1990, se intensificaron las acciones para acrecentar y mejorar la infraestructura y la oferta de los servicios de telecomunicaciones. Entre las medidas de mayor trascendencia tomadas para impulsar la modernización, alentar la inversión de los particulares y fomentar la competencia, está la expedición del nuevo Reglamento de Telecomunicaciones.

Entre los atributos positivos del nuevo reglamento, están la claridad con que establece la distinción entre concesiones y permisos; la especificidad al tratar de las condiciones en que las redes telefónicas deben instalarse, operarse, explotarse y expandirse; el sentido práctico al promover la competencia mediante el establecimiento de obligaciones de interconexión equitativa a las redes públicas de telecomunicaciones, así como la apertura al fomentar el desarrollo de nuevos servicios de radiocomunicación.

1990, pasará a la historia, porque en ese año culminó el proceso de desincorporación de Telmex, al vender el estado el 20.4 por ciento de acciones controladas al consorcio integrado por el grupo mexicano Carso, accionista mayoritario, y las empresas de participación minoritaria: Southwestern Bell, de la Unión Americana, y France Telecom, de Francia, el 20 de diciembre.

En 1991, ya bajo la administración de los concesionarios privados, con apoyo del Programa Nacional de Solidaridad, se impulsó la telefonía rural incorporando 2,852 comunidades de más de 500 habitantes. Con ello, Telmex provee el servicio a 9,494 localidades y otras 3,935 recibían atención de Telecomunicaciones de México alcanzando un total de 13,429 en las áreas rurales. Ese año se pusieron en operación 44 nuevas centrales y se conectaron 650 mil nuevas líneas, con lo que el país dispuso de más de seis millones de líneas y alcanzó una densidad de siete por cada 100 habitantes, en tanto que el número de aparatos llegó a cerca de 11 millones, con una densidad de 14 por cada 100 habitantes. Teléfonos de México consiguió, en 1991, una tasa de crecimiento superior al 13 por ciento.

Por su parte, Telecomm oferta los servicios de telereDES Vsat y Tdma/Dama. Ambas telereDES utilizan la transmisión vía satélite, y tienen la capacidad de transmitir señales de

voz y datos. Junto con las redes citadas, Telecomm también ofrece los Servicios Empresariales Internacionales (IBS), que proveen comunicación digital por los satélites de Intelsat.

Para los interesados en información especializada en finanzas, se ofrece el servicio Swift, con conexión a la red mundial que integran los 1800 bancos de la Society for Worldwide Interbank Telecommunication.

También se registró progreso en la transmisión de datos en paquete por la red pública Telepac, que en 1988 daba servicio a 1,029 usuarios en 23 ciudades con 900 puertos, mientras que para 1991 los usuarios atendidos eran 2,475, distribuidos en 53 asentamientos urbanos, con una capacidad aproximada de 3,000 puertos y ofrecía conexión a 28 redes internacionales en 18 países. Otro servicio operado por Telecomm que mejoró en calidad y continuidad, y registró crecimiento, fue el provisto por el sistema público de procesamiento remoto de datos, Infonet, al que en 1988 se integraban 2,020 terminales de usuarios, cifra que en 1991 aumentó a 2,725.

Por su parte, la telegrafía mantuvo un crecimiento moderado. En 1991, este servicio ahora operado por Telecomm, incorporó nueve centrales y 130 administraciones al servicio de conmutación automática de mensajes, logrando un incremento considerable en su índice de automatización.

También se comenzó el desmantelamiento de las líneas físicas, que por su antigüedad tenían una baja confiabilidad. Noventa oficinas del servicio telegráfico, fueron rediseñadas, remodeladas y transformadas en *centros de servicios integrados de telecomunicaciones*, proveyendo a los usuarios, en un mismo lugar, los servicios públicos de telegramas, giros, facsímil, télex, telemensaje electrónico y conferencias telefónicas de larga distancia.

En relación con la incorporación de la fibra óptica, en 1991, Telmex, mediante su filial Teléfonos del Noroeste, había concluido la instalación de 400 kilómetros en los estados fronterizos con Estados Unidos de América y había avanzado en el tendido de fibra óptica en las rutas de la ciudad de México a Cuautitlán, a Querétaro y a Celaya, cuya terminación estaba prevista para el segundo semestre de 1992.

El programa completo de Telmex comprende la construcción de una red de fibra óptica de 13,500 kilómetros de longitud, en los derechos de vía de las redes ferroviaria y carretera, que en 1993 enlazará las 54 ciudades más importantes del país y constituirá su sistema nervioso central para la comunicación de larga distancia. El costo de esta red es superior a los 600 millones de dólares. Asimismo, con el fin de incrementar su capacidad de conexión digital con otros países, México participa en los trabajos destinados a implantar el cable submarino de fibra óptica Columbus II.

Referente al servicio de radiolocalización móvil de personas, *paging*, en 1991 se había alcanzado la cifra de 41 operadores con cobertura local y 51,500 suscriptores. Por su parte, en el año antes citado, el servicio móvil de radiocomunicación especializada de flotillas, *trunking*, era operado por nueve empresas y contaba con 2,800 suscriptores en siete ciudades del país. Se prevee un gran crecimiento de este servicio, pues se espera que al poner en operación los satélites Solidaridad, que disponen de la banda L para los servicios móviles, se producirá una notable expansión del mercado de radiolocalización de vehículos, radiodetección y telefonía móvil.

El notable impulso que se dio a la radio en el periodo 1989-1991, puede verificarse en las 69 nuevas frecuencias, que otorgadas en concesión o permisión, incrementaron la gama de opciones de los radioescuchas.

Ello permitió que en el último año del periodo referido, el país contara con 1057 estaciones de radio, 727 de las cuales eran de frecuencia modulada, y que la cobertura geográfica del medio abarcara, todo el territorio nacional. Se otorgaron 34 autorizaciones para modernizar equipos, se obtuvo la aprobación de incorporar la estereofonía en estaciones de amplitud modulada y además se amplió el espectro radioeléctrico en la banda de amplitud modulada de 1605 kilohertz a 1705 kilohertz. También se autorizó el servicio de radiodistribución de señales digitales que sólo pueden ser captadas por usuarios-suscriptores que dispongan del equipo decodificador y que llegan a alcanzar la calidad de reproducción de un disco compacto.

Dentro del campo de la televisión mexicana, con el propósito de extender el servicio a las comunidades que carecían de él, mejorar los contenidos de las emisiones, ampliar y diversificar la oferta, incorporar innovaciones tecnológicas y fomentar la competencia entre los emisores para elevar la calidad de las transmisiones, el gobierno federal en el periodo 1989-1991, procedió a otorgar 68 nuevas estaciones de televisión bajo el régimen

de concesión y cinco bajo el de permisión, así como a permitir la instalación de minitransmisores receptores para captar y distribuir señales transmitidas vía satélite, debidamente autorizadas, en las pequeñas comunidades rurales aún no cubiertas por el servicio.

Respecto a la televisión por cable, cuya meta para 1994 es cubrir las 200 ciudades más importantes del país, en 1991 se consiguió que fueran 100 sistemas los que daban este servicio a más de 750 mil suscriptores.

Como en el pasado, la recuperación del crecimiento y la modernización del sistema de telecomunicaciones del país, corresponden con la recuperación de sus actividades económicas que ha venido sucediendo en los últimos años. Nuevas inversiones han tenido lugar en diferentes áreas, pero ha sido mayor dentro del campo de las telecomunicaciones, pues México comienza una apertura importante en todos los aspectos y requiere por ésto, de una comunicación rápida, confiable y oportuna que lo mantenga en competencia dentro del mundo de la información que vivimos hoy en día y que le darán el poder y la posición ventajosa necesaria para aspirar hacia un gran desarrollo hacia el fin del siglo.

D

O

S

2.1 Diferentes tipos de comunicación electrónica.

En la actualidad existen diferentes formas de comunicarse (oral, escrita, etc.), pero dentro del campo de la comunicación electrónica se ha dado un desarrollo vertiginoso en años recientes. Lo que define las diferentes alternativas de comunicación, es el medio de transmisión de la información, el cual se selecciona dependiendo del tipo y las características de la comunicación y cada una de estas alternativas tiene una aplicación específica.

El medio de transmisión es el camino físico entre el transmisor y el receptor en un sistema de comunicaciones. Las características y calidad de la transmisión, se determinan por la naturaleza de la señal y por la naturaleza del medio de transmisión.

Existen dos clasificaciones generales para los medios de transmisión:

- Guiados
- No guiados

En el caso de los medios de transmisión guiados, se pueden utilizar solamente para enlaces punto a punto. Por otro lado, en lo que se refiere a los medios de transmisión no guiados, la comunicación se realiza por medio de ondas de radio. Generalmente cuando se transmite a bajas frecuencias, la señal se propaga en todas direcciones, mientras que a altas frecuencias se requiere de antenas direccionales para enfocar el haz de transmisión.

Para determinar que medio de transmisión es la mejor alternativa en un enlace determinado, es necesario efectuar una minuciosa evaluación de sus características y ponderarlas respecto a los parámetros siguientes: Disponibilidad, Confiabilidad, Velocidad, Distancia, Costos, Mantenimiento y Facilidad de implementación. Por lo tanto, cada uno de los medios que se mencionarán a continuación, tiene sus aplicaciones específicas dentro del campo de las telecomunicaciones.

2.1.1 Medios de transmisión guiados.

1) Par torcido de hilos metálicos

El par torcido de hilos metálicos es el recurso para comunicación local más usado en el mundo. Con el par de hilos metálicos es posible transmitir con rangos de ancho de banda estrechos y medios. Este medio es el que las compañías telefónicas han usado durante cien años.

El uso del par de hilos metálicos está limitado a aplicaciones en donde se requieren enlaces punto a punto. Un par torcido consiste de dos alambres de cobre aislados y arreglados en un patrón espiral regular, pero su principal desventaja es que si se desean tener varias comunicaciones, se deberán tener tantos pares torcidos como comunicaciones se requieran.

Para la instalación del par de cables, es necesaria una infraestructura de ductos, los cuales guían a el par hasta su destino. Esta infraestructura existente en ductos, en un futuro, podrá ser utilizada para la instalación de fibra óptica o cable coaxial.

2) Cable coaxial

El cable coaxial al igual que el par torcido está formado por dos conductores metálicos, pero su construcción le permite operar sobre un rango muy amplio de frecuencias teniendo así la capacidad de conducir más señales que el par torcido.

Las principales aplicaciones del cable coaxial son:

- Transmisión telefónica a largas distancias
- Transmisión de televisión a largas distancias
- Redes de área local

Para la instalación de estos cables, al igual que con el par de hilos, también es necesaria una infraestructura de ductos.

3) Fibra óptica

La fibra óptica es un filamento de vidrio puro que transporta la información bajo forma luminosa y no eléctrica, como sucedía con los cables de cobre. Con ellas se inició una época en la transmisión de información digitalizada teniendo como soporte físico la luz.

La novedad radica en que por las mismas características del vidrio, puro y autoreflejante, se puede transmitir la señal a grandes distancias sin necesidad de repetidores. Las fibras ópticas son cilindros de vidrio del grosor de un cabello.

Un cable telefónico tradicional deja pasar 900 conversaciones simultáneas, mientras que una fibra óptica de 12 micrones de diámetro deja pasar diez veces más. Según los investigadores, con 10 kilogramos de fibras ópticas se transmite la misma cantidad de mensajes que con tres toneladas y media de cobre; esto nos da una idea sobre la enorme diferencia existente entre las fibras ópticas y el par de cables o el cable coaxial.

Las fibras ópticas además de transmitir voz, conducen señales de textos e imágenes y permiten la interactividad de señales. A diferencia de los cables de cobre, se pueden colocar cientos de filamentos de fibras ópticas en un cable más grueso, revestido y que conduce la señal bajo tierra. Su durabilidad y fidelidad en la transmisión de voz, texto e imágenes es enorme además de resultar más barato que un cable de cobre. Otra ventaja sobre el cable coaxial y el par de hilos es la posibilidad de transmitir información a velocidades mucho más altas.

Hasta ahora uno de los usos más comunes de la fibra óptica ha sido la transmisión de voz, es decir, la telefonía. No obstante, se utiliza también en televisión revolucionando sus principios operativos al introducir una modalidad comunicativa: la interactividad de señales.

Sin embargo, al igual que todos los medios de transmisión tiene sus aplicaciones específicas, ya que existen casos en los que no es costable la construcción de la infraestructura necesaria para su instalación o bien el servicio es requerido en menor tiempo del que se necesitaría para la construcción de dicha infraestructura.

En México, no es posible tener tendidos de cables de cualquiera de los tipos mencionados anteriormente fuera del ámbito de un edificio o fábrica, pues es exclusivo de Teléfonos de México el hacer este tipo de tendidos en la vía pública, y la Secretaría de Comunicaciones y Transportes no autoriza este tipo de enlaces sobre la vía pública a particulares.

2.1.2 Medios de transmisión no guiados

1) Radio-transmisión

Este medio permite la transmisión de señales en todas direcciones, por lo que las antenas no necesitan ser instaladas con una orientación exacta, sino más bien direccionada hacia el área de transmisión.

Dentro de este medio se manejan señales tanto de radio y televisión comercial, como de datos y voz en enlaces privados. En años recientes, este medio ha tenido un gran auge debido a que permite instalar redes con relativa rapidez.

Las velocidades de transmisión varían desde bajas (1200 b/s) hasta altas (1.544 Mb/s) generalmente y la cobertura alcanza dependiendo de la frecuencia y la potencia de transmisión utilizadas hasta 50 kilómetros sin necesidad de un repetidor, por lo general.

En México, el espectro de radio se encuentra muy saturado (principalmente en la Ciudad de México), por lo que resulta muy difícil obtener permisos de la S.C.T. para la transmisión de información en las frecuencias de radio.

2) Microondas terrestres

Las microondas tienen aplicación en redes tanto regionales como locales. La mayoría de las aplicaciones son enlaces punto a punto.

El rango de frecuencias usadas comúnmente para la transmisión en microondas terrestres es de 2 a 40 GHz. En este rango de frecuencias las señales son más sensibles a atenuaciones por causa de las lluvias y las distancias que se pueden alcanzar sin necesidad de repetir las señales son relativamente cortas.

La transmisión es totalmente direccional y se requiere de trayectorias libres de obstáculos entre los dos puntos que se comunican (línea de vista). Se requiere además, coordinar las frecuencias y los niveles de potencia para compartir el espectro con otros sistemas.

La comunicación por este medio en un enlace entre dos puntos que se encuentran ubicados a gran distancia uno del otro, no es recomendable, ya que es necesario emplear repetidores para regenerar la señal cada 15 a 20 kilómetros aproximadamente, lo que causa que el costo del sistema se eleve. En la siguiente figura (Fig. 2-1) se muestra un

enlace típico con sus repetidores. En México existen redes privadas de microondas pero a cortas distancias (menores a 10 kilómetros). Para largas distancias por este medio, sería necesario utilizar la Red Federal de Microondas, quedando limitados a la cobertura que nos ofrece.

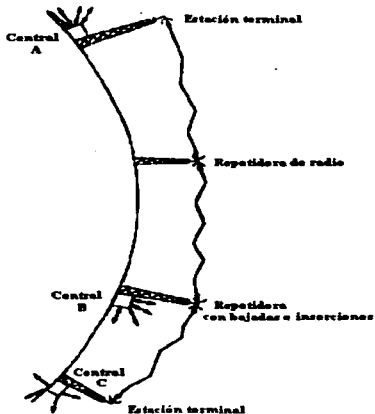


Figura 2-1

3) Vía satélite

La transmisión vía satélite, tiene su mejor aplicación cuando los puntos a enlazar se encuentran a gran distancia uno del otro. Se tiene la ventaja de que los enlaces pueden ser multipunto a multipunto, multipunto a punto o punto a multipunto.

El satélite recibe señales en una frecuencia, las amplifica y las retransmite en otra frecuencia hacia la Tierra para ser recibidas por una o varias estaciones. La banda de frecuencia en la que operan los satélites va de 3 a 30 GHz.

Los usos que se le dan a este medio de transmisión son principalmente para la transmisión de señales telefónicas, de telex, televisión y datos sobre largas distancias, sin que existan los problemas de obstáculos con los que se topan las microondas terrestres.

La situación en México para este tipo de comunicación, permite a los usuarios tres posibilidades. La primera es usando la infraestructura que posee la S.C.T. para la conducción de señales a través del satélite, la segunda es utilizando la infraestructura que dispone Telmex a través de la Red Digital y la tercera es adquirir una infraestructura terrestre totalmente propiedad del usuario, rentando únicamente a Telecom, el segmento de ancho de banda en el satélite necesario para la operación del sistema.

Si bien es cierto que una red satelital representa una fuerte inversión al principio, también es cierto que dada la versatilidad del sistema y su capacidad de transmisión y de cobertura de una gran área, los beneficios que ofrece compensan rápidamente la inversión inicial.

¿Por que satélites?

Las comunicaciones por satélite han alcanzado en la actualidad una etapa muy interesante en su desarrollo. Tradicionalmente, los satélites han sido utilizados para brindar el servicio de telecomunicaciones internacionales transoceánicas a través de enormes antenas de entrada, conectadas a las redes nacionales de comunicaciones. Las fibras ópticas presentan ahora un reto a los satélites en lo que concierne a estas rutas tradicionales, pero, en lugar de anunciar la desaparición de las comunicaciones por satélite, han permitido desarrollar mercados nuevos para los cuales los satélites son la mejor opción. Los cambios principales que han ocurrido son la introducción de antenas más pequeñas para servicios nuevos tales como la recepción directa de televisión (DBS), de sistemas de negocios con aperturas muy pequeñas (VSAT), y de terminales móviles para comunicaciones marítimas, aeronáuticas y también terrestres.

Tienen como ventaja frente a las fibras ópticas, que el tiempo de instalación y puesta en operación es mucho más corto, sin tomar en cuenta además que, no está permitido en México una red privada de fibra óptica que toque diferentes ciudades del país y en todo caso, la inversión que tomaría para esta red sería mucho mayor.

Por otro lado frente a una red de microondas, las ventajas son múltiples, desde la posibilidad de tener sistemas multipunto a multipunto a la independencia de la distancia

requerida para el enlace con el consiguiente ahorro en repetidores necesarios para el sistema.

2.2 Evolución de los satélites.

La comunicación surge desde los tiempos más remotos debido a la necesidad del hombre de intercambiar ideas con sus semejantes. La comunicación a larga distancia en la antigüedad, era muy escasa y muy lenta. Generalmente, las informaciones de lugares lejanos eran traídas por viajeros.

Pero esta comunicación a larga distancia, o lo que es lo mismo, la telecomunicación, tuvo repentinamente un desarrollo vertiginoso, tal y como se describió en el capítulo anterior. Se desarrollaron muchos sistemas para la comunicación dentro de un país e incluso dentro del mismo continente, pero para la comunicación intercontinental no fue tan sencillo.

En 1857, se instaló el primer cable submarino que enlazaba América con Europa. Un siglo después, se puso en funciones el primer cable telefónico trasatlántico. Pero fue a finales de la década de los cincuenta cuando hizo su aparición la comunicación vía satélite.

El avance de la tecnología en los últimos tiempos ha permitido el desarrollo de la comunicación vía satélite, y esto ha traído consigo una optimización de las comunicaciones en general (voz, datos, facsímil, telex, video).

Se han fabricado satélites con usos muy específicos, como son para tele-detección, tele-observación o percepción remota, meteorológicos, de ayudas a la navegación, laboratorio, militares y de comunicación.

El primer satélite de comunicaciones que se utilizó, fue la luna, usada como un reflector pasivo por la marina de los Estados Unidos en la década de 1950, para una comunicación de datos de baja velocidad entre Washington, D.C. y Hawaii.

La primera comunicación usando un satélite artificial, tuvo lugar en octubre de 1957, cuando el satélite soviético Sputnik 1, transmitió información de telemetría por 21 días. Este acontecimiento fue seguido por una intensa actividad de los Estados Unidos,

comenzando con el Explorer 1, que fue lanzado en Enero de 1958 y transmitió telemetría por un periodo cercano a los cinco meses.

Posteriormente, se lanzaron otros satélites: unos de tipo pasivo y otros activos con órbitas elípticas inclinadas, requiriéndose sistemas de rastreo y seguimiento en las correspondientes terminales terrenas. Para mantener comunicación continua, se necesita más de un satélite y al menos dos estaciones en cada sitio, las cuales son complejas y costosas.

El primer satélite artificial usado para la comunicación de voz fue el Score, lanzado en diciembre de 1958 y que transmitió un mensaje de navidad del presidente Eisenhower de los Estados Unidos.

En el año de 1958, se crea la N.A.S.A. (Administración Nacional de Aeronautica y del Espacio) para la investigación y en 1962 se puso en órbita el primer satélite de comunicaciones privado, propiedad de la compañía norteamericana American Telegraph and Telephone, con una potencia de salida de 3 watts.

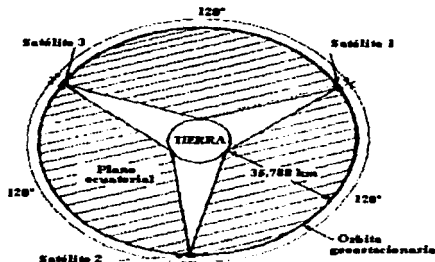


Figura 2-2

El escritor y físico Artur C. Clark, dio las bases técnicas para integrar un sistema de comunicación global internacional, utilizando tres satélites de tipo geoestacionario; es

decir, satélites que giran sobre el plano del Ecuador, con el mismo eje de rotación terrestre y a una altura cercana a los 36,000 kilómetros como se muestra en la anterior figura (Fig.2-2), con el fin de que dinámicamente giren a la misma velocidad angular de la tierra, y para un observador sobre ella parezcan fijos. Lo anterior conlleva a usar estaciones terrenas fijas de bajo costo.

Al lograr ubicar satélites en una órbita sincrónica con la rotación de la Tierra, se simplificó la comunicación espacial. El primer satélite geosíncrono fue el Syncom, de la NASA, lanzado en 1963. La ventaja de este tipo de satélites (órbita geosíncrona) es que no se necesita una estación terrena que vaya siguiendo al satélite durante su recorrido, sino únicamente que lo siga durante pequeños ajustes en su órbita.

En agosto de 1963, se reunieron once países y acordaron la creación de un comité interino, avalado por la Organización de Naciones Unidas, para la conformación de un sistema mundial de telecomunicaciones via satélite. Este sistema se denominó INTELSAT, quedando abierto para la adhesión de cualquier país que lo desee; en la actualidad son 118 países miembros y más de 160 los que hacen uso de la infraestructura Intelsat.

Para dar servicio a nivel mundial, se dividió al globo terráqueo en tres regiones: Atlántico, Índico y Pacífico, que operan con satélites denominados Primario, Principal I y Principal II. En 1965 se lanza el Pájaro Madrugador para servicio comercial trasatlántico y fue retirado en 1969, después de tres años y medio de operación.

Desde el lanzamiento del Intelsat I (Pájaro Madrugador) que tenía una capacidad de 240 circuitos telefónicos o un canal de televisión, el desarrollo del sistema Intelsat ha tenido un dramático incremento en tecnología, capacidad de los satélites y en las redes de estaciones terrenas.

Al Pájaro Madrugador, le siguieron los de las series Intelsat II en 1966, con la misma capacidad pero con la posibilidad de acceso múltiple, ya que el Intelsat I estaba limitado su acceso a sólo dos estaciones; Intelsat III en 1968 con dos transpondedores y una capacidad de 1,200 circuitos, cuatro canales de televisión o una combinación de ellos; entre 1971 y 1975, el Intelsat IV con 4,000 circuitos y 2 canales de televisión; los Intelsat IV-A entre 1975 y 1978 con una capacidad de 6,000 circuitos y 2 canales de televisión; Intelsat V en 1980 con capacidad de 12,000 circuitos y dos canales de televisión; y los

Intelsat VI durante 1989 con una capacidad de entre 16,000 y 30,000 circuitos telefónicos y dos de televisión.

En 1974 se lanzan los satélites ATS-F y ATS-G, dotados con una inmensa antena parabólica con señales tan intensas que podían ser captadas por receptores de televisión normales. En 1972 se inicia el desarrollo de sistemas satelitales con propósitos de comunicación nacional, es decir, sistemas domésticos. El primer sistema de este tipo fue el Anik, que sirvió para proporcionar comunicación al territorio de Canadá especialmente a las agrestes regiones del norte desprovistas de comunicación directa hasta entonces.

En 1974 Estados Unidos lanza su primer satélite de este tipo, el Westar I; una vez dado este primer paso fue creciendo el número de países propietarios de este tipo de sistemas. En la actualidad existen 16 países, entre ellos México, que utilizan las comunicaciones vía satélite para satisfacer requerimientos nacionales con sistemas domésticos propios.

México es el segundo país en Latinoamérica que cuenta con sus propios satélites de comunicación, siendo precedido por Brasil; ambos sistemas iniciaron su operación durante 1985.

Las redes telefónicas y de televisión que hacen uso de los satélites se han multiplicado y ahora se pueden encontrar estaciones terrenas dedicadas a operar con estos sistemas, tanto en las grandes urbes como en los lugares más recónditos.

Los cables submarinos, las fibras ópticas y la transmisión vía microondas terrestres, proveen de efectiva competencia a la comunicación vía satélite; sin embargo, no pueden competir si se trata de terminales móviles o de lugares remotos que no se encuentran dotados de servicios terrestres por su localización geográfica.

2.3 Servicios de comunicaciones y tipos de satélites

Los servicios que se pueden prestar con los satélites geocestionarios de comunicaciones se dividen en dos grandes grupos: fijo y móvil.

2.3.1 Servicio fijo

Una red de comunicaciones de servicio fijo consiste en uno o varios satélites y las estaciones terrenas que se intercomunican a través de ellos, con la particularidad de que las estaciones siempre permanecen en el mismo punto geográfico donde se instalaron, es decir, son fijas. Sin embargo, las estaciones pueden tener cierta flexibilidad en su movimiento, debido a que en ocasiones se necesita reorientarlas para mejorar la calidad de recepción o para cambiar de satélite.

Un caso particular es el de las unidades llamadas "móviles", que consisten en un plato parabólico, el equipo electrónico necesario de transmisión y de recepción, y una planta propia de energía eléctrica, montados en una camioneta o camión; estas unidades son muy útiles cuando se desea ofrecer un servicio temporalmente, o cubrir algún acontecimiento de corta duración que se desarrolle en algún lugar carente de instalaciones propias de transmisión o recepción.

De cualquier forma, una vez que las unidades móviles son trasladadas a los puntos donde van a estar transmitiendo y recibiendo y después de que sus platos parabólicos son orientados hacia el satélite correspondiente, permanecen operando en modo fijo, por lo que también quedan incluidas dentro del servicio fijo de comunicaciones vía satélite.

La mayor parte de las estaciones terrenas que existen en el mundo operan en la modalidad de servicio fijo. El satélite Anik D1 de Canadá y el Morelos I de México, son ejemplos de satélites que brindan servicio fijo.

2.3.2 Servicio móvil

En muchas ocasiones, cuando se está en movimiento a bordo de un vehículo y lejos de algún aparato telefónico tradicional, es necesario contar con un sistema eficiente de comunicación, ya sea para arreglar asuntos de negocios, realizar una operación de rescate, o simplemente para saludar a alguien; en la mayor parte de los casos, las distancias a cubrir pueden ser de cientos o miles de kilómetros, por ejemplo entre un avión y una casa habitación, o entre un barco de carga y las oficinas centrales de su compañía. Hasta ahora, los medios convencionales de transmisión en onda corta y media son poco confiables, están sujetos a interferencias e interrupciones, y su alcance es limitado. En cambio, los

satélites de comunicaciones ofrecen un servicio mejor y mayor alcance; su eficacia no es alterada por las condiciones ambientales y sus señales se reciben prácticamente con la misma potencia en puntos cercanos o separados miles de kilómetros entre sí. Estas características hacen de los satélites de servicio móvil un medio de comunicación cada vez más aceptado mundialmente.

En cualquiera de los casos, el equipo de comunicaciones del vehículo debe tener una antena capaz de permanecer en contacto con el satélite geoestacionario, independientemente de su movimiento. Dependiendo del tipo de vehículo, de sus dimensiones y de la cantidad y diversidad de información que transmita o reciba, requiere tener una clase diferente de antena y equipo electrónico.

Uno de los principales sistemas de satélites de servicio móvil son los Inmarsat. Las redes de comunicaciones móviles por satélite surgieron años después de las de servicio fijo y la mayor parte aún se encuentra en su etapa de diseño o construcción. El servicio todavía no pertenece a una industria tan firme y lucrativa como la del servicio fijo, pero ya es toda una realidad y tiene un gran potencial de desarrollo y utilización en el futuro.

2.3.3 Tipos de satélites

En la actualidad hay gran diversidad de satélites geoestacionarios orbitando la tierra. Algunos de ellos se utilizan para el servicio móvil de comunicaciones como ya se mencionó en el punto anterior (Marecs, Intelsat V en forma parcial, etc.); otros están dedicados al servicio fijo de comunicaciones y el número restante cumple con otros propósitos, por ejemplo, observaciones meteorológicas, vigilancia y experimentación.

No todos los satélites operan a la misma frecuencia; existen diferentes bandas como se puede observar en la siguiente tabla (Tab.2-1), pero por lo que respecta a las de comunicaciones, la mayor parte funciona en las bandas C y Ku; algunos de ellos, los híbridos, trabajan simultáneamente en ambas bandas. La tendencia actual es sustituir los satélites que trabajan en una sola banda por satélites híbridos, ya que estos permiten duplicar el ancho de banda de transmisión y recepción, con el consecuente incremento en la cantidad de información que se puede conducir, aunque a expensas de mayor complejidad y costo.

	Banda	Enlace ascendente (GHz)	Enlace descendente (GHz)
C:	6/4 GHz	5.925 - 6.425 (500 MHz)	3.700 - 4.200 (500 MHz)
		5.850 - 7.075 (1225 MHz)	3.400 - 4.200 4.500 - 4.800 (1100 MHz)
X:	8/7 GHz	7.925 - 8.425 (500 MHz)	7.250 - 7.750 (500 MHz)
Ku:	14/11 GHz	14.000 - 14.500 (500 MHz)	10.950 - 11.200 11.450 - 11.700 (500 MHz)
		12.750 - 13.250 14.000 - 14.500 (1000 MHz)	10.700 - 11.700 (1000 MHz)
		14.000 - 14.500 (500 MHz)	11.700 - 12.200 (500 MHz)
Ka:	30/20 GHz	27.500 - 31.000 (3500 MHz)	17.700 - 21.200 (3500 MHz)

Tabla 2-1

Algunos satélites se utilizan solamente para transmitir televisión analógica, otros para telefonía analógica o digital en su totalidad o mayor parte, y otros para el manejo exclusivo de información que contenga datos, pero muchos operan simultáneamente con cualquiera de estos tipos de información, ya sea en transpondedores independientes o, a veces, en el mismo transpondedor.

Sus configuraciones geométricas también son muy variadas; los hay de estabilización triaxial o por giro, de potencia media o alta, de menor o mayor vida de diseño, y de coberturas geográficas muy diversas.

2.3.4 Descripción y características principales de los sistemas de satélites Morelos y Solidaridad

1) Sistema de satélites Morelos

Para impulsar el desarrollo de las telecomunicaciones nacionales, satisfacer la demanda de servicios y poder hacer llegar los beneficios de comunicación a poblaciones de difícil acceso, considerando además que la Red Federal de Microondas había alcanzado niveles de saturación y sus equipos sufrían alta degradación, se procedió a efectuar una serie de estudios técnicos, económicos, sociales y financieros, que dieran como resultado la conveniencia y factibilidad de que nuestro país contara con satélites propios para sus comunicaciones nacionales.

Fue así como en 1982, se firmaron los contratos correspondientes al desarrollo del proyecto: Sistema de Satélites Morelos.

Los satélites Morelos están diseñados para alcanzar una vida de operación en órbita de al menos nueve años. Cada uno de ellos está dotado con equipo de comunicaciones que utiliza las bandas de frecuencia C y Ku, es decir, son satélites de tipo híbrido en cuanto a frecuencia.

Ambos pertenecen a la serie IIS-376, fabricados por la Hughes Communications International, Inc. Tienen forma cilíndrica, con diámetro de 216 cm. Su configuración durante el lanzamiento, con dos de las antenas y el panel de celdas solares de tipo telescópico plegados, alcanza una altura de 286 cm. En órbita, con las antenas y el panel solar desplegados, la altura de los satélites es de 660 cm. Su peso es de 666 kilogramos al inicio de su operación; 145 kilogramos corresponden al combustible utilizado para mantener sus posiciones orbitales correctas.

Las dos partes principales del satélite son: la sección giratoria, en donde se alojan los subsistemas de propulsión, energía y control de inclinación, y la plataforma fija, orientada hacia la Tierra, que contiene el subsistema de comunicaciones: las antenas (parabólicas, planar y de telemetría y comando). La interfase rotatoria entre las dos secciones es proporcionada por una unidad de soporte y transferencia de energía. En las figuras siguientes (Figs.2-3 y 2-4) se pueden apreciar los principales módulos y partes que conforman un satélite como los pertenecientes al Sistema de Satélites Morelos.

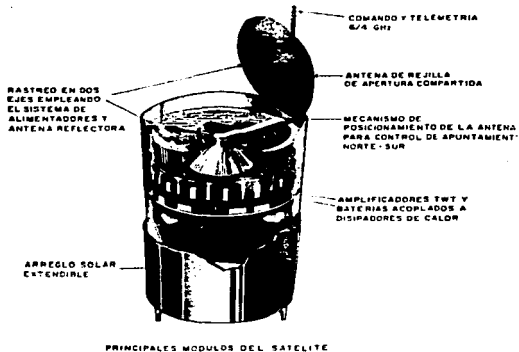


Figura 2-4

A continuación se describen los dos subsistemas que entran en operación directamente en una comunicación vía satélite y que por las funciones que desempeñan, definen las características de operación de los satélites:

Subsistema de comunicaciones

Este subsistema se encuentra equipado con 22 canales que operan en las bandas C y Ku. En la banda C se tienen 12 canales de banda angosta (36 MHz) y seis de banda ancha (72 MHz). En la banda Ku existen cuatro canales, con ancho de banda de 108 MHz cada uno.

La información en 6 GHz se recibe mediante la antena parabólica y se traslada a 4 GHz en dos de los receptores redundantes. En la banda Ku la información en 14 GHz se recibe mediante la antena planar y se traslada a 12 GHz en uno de los receptores redundantes.

Los canales de banda angosta en la banda C emplean amplificadores con redundancia 12+2 (12 operativos más 2 de reserva), mientras que los canales de banda ancha tienen redundancia de 6+2. En la banda Ku se utilizan amplificadores con redundancia de 4+2.

La potencia isotrópica radiada equivalente (PIRE) mínima con que se cubre la totalidad del país es de 35.5 dBw por canal angosto de banda C, de 39 dBw por canal de banda ancha en banda C y de 44 dBw por canal en banda Ku.

Subsistema de antenas

El corazón de este subsistema lo constituye la antena parabólica compuesta por dos reflectores, con diámetro de 1.8 metros. La antena se localiza en el extremo superior de la plataforma no giratoria de cada satélite, orientada hacia el centro de México. El reflector doble, con sus alimentadores, crea cinco de seis haces de comunicación para los enlaces ascendentes y descendentes, con eficiente transmisión y recepción de las señales de comunicación en banda C y, además permite la transmisión de señales en banda Ku. La antena también se emplea para enviar señales de radiofaro, telemetría y medición de distancia, y recibe señales de comando para el subsistema de control de posición.

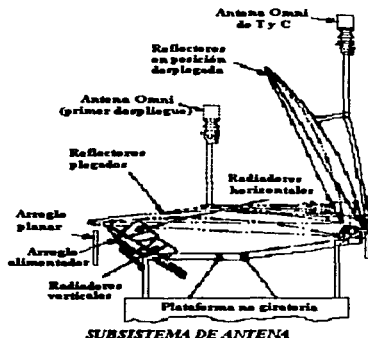


Figura 2-5

El sexto haz es producido por una antena plana, diseñada para operar en un espectro de frecuencias de 14.0 a 14.5 GHz. La antena plana que recibe las señales de comunicación

en banda Ku tiene 32 elementos ranurados idénticos, cuya área es de 85 cm² aproximadamente; en la anterior figura (Fig.2-5) se observan las partes que conforman este subsistema.

La antena está ubicada directamente enfrente del conjunto de cornetas y por encima del panel solar, para evitar obstrucción de la vista hacia México; está protegida del ambiente solar/térmico por el mismo tipo de protector solar que es comúnmente usado en todos los reflectores parabólicos de los satélites de la serie HIS-376.

El primer control desde la tierra del satélite se obtiene con una antena de tipo omnidireccional, la cual se despliega aproximadamente dos minutos después de que el satélite ha abandonado el vehículo lanzador. A través de ella se reciben y transmiten señales de rastreo, telemetría y comando.

Centro de control de los satélites

Los satélites están sujetos a fuerzas gravitacionales, principalmente de la Tierra, de la Luna y del Sol, así como fuerzas de tipo electromagnético que influyen sobre la posición del mismo. El satélite debe permanecer en su posición nominal dentro de un rango de +0.1°.

El satélite está provisto de equipos de teledetección, que le permiten identificar la dirección dónde se encuentra la Tierra y el Sol; de esta manera contará con la información de referencia necesaria para su orientación, con el fin de mantener la posición dentro del rango especificado. Cuenta además con un sistema de propulsión que trabaja con un combustible espacial (hidrazina). Cada maniobra consume para corregir la posición una pequeña cantidad de combustible; al consumirlo en su totalidad, ya no será posible corregir la posición, por lo que en ese momento finaliza la vida útil del satélite (entre nueve y diez años).

El centro de control en Tierra, instalado en el Conjunto de Telecomunicaciones (CONTEL), ubicado en la ciudad de México, D.F., se compone por una antena de seguimiento completo en azimuth y elevación; dos antenas para comunicaciones de forma parabólica de once metros de diámetro; el equipo de radiofrecuencia y banda base; el parquo de telemetría y comando; la consola de control de operaciones y monitoreo; el equipo de cómputo y la sección de análisis de dinámica orbital.

2) Sistema de Satélites Solidaridad

En 1993 y 1994 se pondrán en órbita dos satélites más, denominados Solidaridad que tendrán como función principal abrir nuevos canales de comunicación para los ya saturados de los Morelos (cerca de terminar su vida útil, el Morelos I en 1994 y el Morelos II en 1998) además de cubrir necesidades internacionales de comunicación.

Entre las innovaciones de este nuevo sistema tenemos, una mayor potencia, una cobertura más amplia que incluye a Estados Unidos y Canadá, extendiéndose su radio de acción hasta América Latina: el Caribe, Centroamérica, Colombia, Venezuela, Ecuador y Perú, llegando hasta Argentina y Chile.

El nuevo sistema estará formado por dos satélites de comunicaciones con estabilidad triaxial en su versión A, la ampliación del Centro de Control Primario ubicado en Iztapalapa y la integración de un centro de control alterno. Una de las mayores innovaciones será contar con la banda L para comunicaciones móviles. La banda L permite la transmisión y recepción de una señal con una antena relativamente pequeña y barata facilitándose así su instalación en móviles: barcos, ferrocarriles, autobuses y camiones de carga. En una pantalla las empresas podrán localizar dónde se encuentran dichos elementos.

Según estimaciones oficiales, con los nuevos satélites quedará cubierta la demanda de comunicación de México hasta el año 2000. Como los satélites serán de alta potencia se simplificará el tipo de equipos necesarios para captar y recibir señales. Las antenas de las estaciones terrenas medirán de 1.5 a 2 metros.

Desde ahora se preve que este sistema puede llevar a México a negociar nuevas posiciones orbitales, en caso de que no sean suficientes los nuevos Satélites Solidaridad. Mientras que los Morelos pueden tener una vida útil de ocho años, se espera que los Solidaridad duren de 10 a 12 años.

Los objetivos planteados por Telecomm para el sistema de satélites Solidaridad, son los siguientes:

- Sustituir al satélite Morelos I y posteriormente al Morelos II.
- Ampliar y diversificar los servicios nacionales de comunicaciones satelitales.
- Atender el crecimiento de redes y satisfacer nuevas demandas.

- Optimizar el uso del segmento espacial.
- Proporcionar cobertura nacional y regional.
- Ampliar la capacidad de comunicación con E.U.A.
- Satisfacer necesidades de comunicaciones satelitales de países de:
 - * Centroamérica
 - * Sudamérica (algunas regiones)
 - * El Caribe



Figura 2-6

El sistema de satélites Solidaridad está compuesto por dos satélites con características idénticas y estabilización por tres ejes (triaxial, como se mencionó anteriormente). Su

fecha probable de lanzamiento es para el Solidaridad I, en Noviembre de 1993 y para el Solidaridad II, entre Febrero y Mayo de 1994.



Figura 2-7

Las bandas de operación serán: C, Ku, L. La cobertura de la banda Ku será el territorio mexicano y algunas ciudades de Estados Unidos de América. La banda C operará en el territorio mexicano, sur de los Estados Unidos de América, Centroamérica, norte de Sudamérica, el Caribe y algunos países del resto de Sudamérica. Por último, la banda L operará en la República Mexicana y su mar patrimonial. Las figuras 2-6 y 2-7 ilustran la cobertura del sistema Solidaridad en banda C y Ku, respectivamente.

Entre otras mejoras en las comunicaciones respecto a los satélites Morelos tenemos más del doble de la capacidad de la primera generación; incremento substancial de la potencia de las señales; cobertura de los países vecinos y parte de Sudamérica; misión para servicios móviles; mejoras en la vida útil y calidad en todos los subsistemas.

Los servicios que ofrecen para México son: redes corporativas de voz y datos, distribución de radio y televisión, redes digitales públicas y privadas, y comunicación móvil; mientras que para tráfico regional son distribución de radio y televisión y comunicación de voz y datos. Entre los beneficios para los países de la región comprendida dentro de la cobertura del sistema de satélites están la disponibilidad de canales para comunicaciones domésticas, posibilidad de comunicación directa entre países para señales de telefonía conmutada hasta 100 circuitos y señales de telefonía no conmutada, intercambio regional de programas de radio y televisión y establecimiento de redes de datos flexibles y de rápida instalación.

*T
R
E
S*

CAPITULO 3

Dispositivos de un sistema de comunicaciones vía satélite

Un sistema de comunicaciones vía satélite está constituido por diferentes elementos que hacen posible la transmisión y recepción a través del satélite, usando a éste como repetidor, con la ventaja sobre las microondas terrestres de no tener que repetir la señal cada cierto número de kilómetros, pero con la desventaja de un retardo existente en la señal como consecuencia de que ésta debe viajar aproximadamente 36,000 kilómetros para llegar al satélite y la misma distancia de regreso tomando un tiempo de aproximadamente 250 milisegundos, que si bien aparentemente no es mucho, sí provoca efectos en la transmisión de voz o datos. Lo anterior se corrige utilizando protocolos de comunicación y mecanismos adecuados.

Estos elementos que integran un sistema típico de comunicaciones vía satélite se encuentran divididos de la siguiente forma:

Segmento espacial: Se encuentra constituido por uno o varios satélites, de los cuales unos pueden estar en servicio y otros como respaldo en caso de falla; o bien todos en servicio pero con transponders de respaldo.

Segmento terrestre:

Estaciones terrenas: Una misma red (o sistema) puede incluir distintos tipos de estaciones. Puede variar el tamaño de la antena, haber estaciones fijas y otras móviles, tener diferente capacidad de transmisión (mayor número de canales, amplificador de mayor potencia), diferente sensibilidad de recepción, etc.

Estaciones de telemetría, seguimiento y comando: Estas estaciones siguen la posición del satélite, le envían instrucciones para su operación (por ejemplo, correcciones en la posición de éste), y reciben información de telemetría indicando el estado del satélite.

Centro de control de la red: El centro de control no es una parte indispensable de una red de comunicación vía satélite, pero sí altamente recomendable. Este, monitorea el estado operacional de toda la red. Dependiendo de los requerimientos y de la filosofía de operación de ésta, este centro puede tener diferentes grados de complejidad, sofisticación y capacidad de monitorear hasta el más mínimo detalle. En caso de existir alguna falla

dentro de la red, normalmente se tiene la capacidad de cambiar desde este punto, a control remoto, a los equipos de respaldo ó apagar totalmente alguna estación o equipo que por falla pudiera interferir en la operación de ésta.

Para redes domésticas y con un número pequeño de estaciones terrenas (que son por lo general las redes instaladas en México), una de las estaciones terrenas puede ser expandida para incluir este equipo (generalmente la estación donde se encuentra el centro administrativo, logístico y técnico de la red). Tiene la capacidad de proveer señales de alarma visuales o audibles en una consola central y cotidianamente ayuda en las operaciones de configuración necesarias, así como de control, suministrando gráficas y reportes diarios del comportamiento y tráfico de la red, de gran ayuda para la planeación de servicios y necesidad de crecimientos futuros.

De aquí en adelante nos avocaremos a describir y explicar lo relacionado al segmento terrestre, ya que es esta parte del sistema, la que interesa a la hora de desarrollar un proyecto para la instalación y puesta en operación de una red.

Actualmente, se acepta el término "estación terrestre" para designar el equipo de radio sobre la superficie de la Tierra que tiene comunicación con otros equipos similares en la superficie misma. En cambio "estación terrena" es también un equipo de radio sobre la superficie de la Tierra pero, que se comunica a través de un satélite repetidor en órbita con otras estaciones sobre ésta.

Dentro de la comunicación vía satélite existen dos clases de estaciones: estaciones de telemetría, seguimiento y comando utilizadas, como ya se mencionó anteriormente, para el control del satélite y estaciones utilizadas con el propósito de comunicarse con estaciones similares, que son a las que denominamos estaciones terrenas.

Una estación terrena consiste de una antena con su alimentador, el equipo de transmisión, el equipo de recepción, multiplexores en algunos sistemas, un sistema de seguimiento y subsistemas auxiliares como el de alimentación de energía eléctrica y de control de temperatura del equipo. Las estaciones terrenas que se comunican con satélites que utilizan la órbita geoestacionaria, no tienen que seguir ningún movimiento del satélite ya que este gira al igual que la tierra y para una antena instalada en un punto fijo el satélite parece estar fijo; por lo tanto, estas estaciones no necesitan un sistema de seguimiento.

El soporte del plato de la antena, le permite moverse en azimut y elevación con el fin de lograr la orientación correcta hacia el satélite; una vez lograda esta, se asegura y no necesita volverse a mover. Esto es aplicable para estaciones con antenas pequeñas como las utilizadas en las redes privadas de uso doméstico instaladas por diferentes empresas en el territorio nacional.

Pero si se trata de antenas muy grandes (como las de comunicaciones internacionales), se requiere el sistema de seguimiento para conservar su angosto haz directivo bien orientado hacia el satélite, ya que éste sufre pequeñas alteraciones en su posición perceptibles por estas precisas antenas.

La estación es alimentada generalmente por la red de energía eléctrica local. Para lograr el porcentaje de disponibilidad que usualmente es del 99.8%, se requiere que la operación de la estación sea prácticamente continua, sin interrupciones de ningún tipo, lo cual incluye cortes en el suministro eléctrico. Por lo tanto, se requiere de un sistema de respaldo que suministre energía eléctrica en caso de cortes en el servicio local y que haga el cambio automático a éste al detectar el corte. Este sistema se compone básicamente de un generador, un switch y un banco de baterías.

A continuación se explican todos estos sistemas por los que se transmite y recibe a través del satélite de manera simple, sus tipos y su función dentro de la estación terrena.

3.1 Antena

Las características más importantes de una antena son su ganancia y su patrón de radiación. La ganancia es la capacidad de la antena para amplificar las señales que transmite o recibe. Por esto, siempre es deseable tener la mayor ganancia posible en la dirección tanto de recepción como de transmisión de señales y la menor en las direcciones restantes; debido a esto, los lóbulos laterales de radiación de la antena deben ser lo más pequeño posible, para que no capten señales provenientes de otros satélites que pudieran provocar interferencia o al mismo tiempo no interfieran al transmitir, con otros sistemas. En la siguiente figura (Fig.3-1), se aprecian tanto el lóbulo principal, como los lóbulos laterales de una antena.

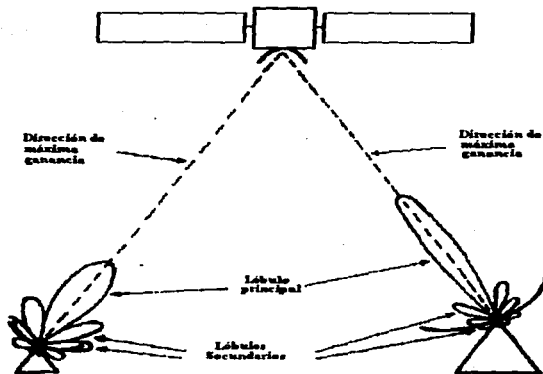


Figura 3-1

La antena siempre tiene un valor de ganancia en cualquier punto a su alrededor, pero se utiliza como valor de ganancia representativo de ésta, el que se obtiene en la dirección de máxima radiación. La ganancia de la antena depende de factores como el diámetro de la misma, a mayor diámetro los lóbulos laterales son más pequeños y el lóbulo principal es más grande y más estrecho como se puede apreciar en la siguiente figura, esto quiere decir que tiene una ganancia y una directividad mayor. También influyen factores como la concavidad de la antena, la rugosidad de su superficie y el tipo de alimentador.

Una antena parabólica tiene la propiedad de reflejar las señales que llegan a ella y concentrarlas en un punto común llamado foco; en este punto se coloca el alimentador. El tipo de alimentador define la ganancia final de la antena y las características de sus lóbulos. Los diferentes tipos de antenas, básicamente se pueden dividir en dos grupos, uno por su forma estructural y el otro por su sistema de radiación.

a) Estructura

Montaje	- Azimut - Elevación - X - Y - Polar
Acabado	- Metal troquelado - Fibra de vidrio - Rejilla de alambre

b) Sistema de alimentación (radiación)

Alimentación frontal (Prime Focus)
Alimentación descentrada (Offset)
Cassegrain
Bocina
Gregorian
Torus

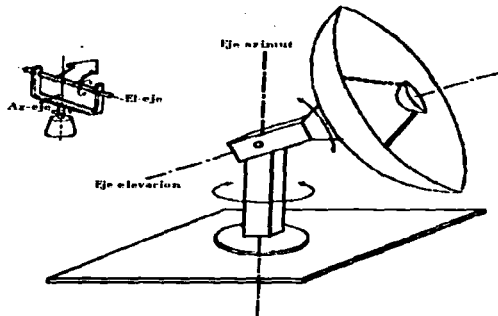
Como se puede ver existen varios tipos de alimentación, pero los tres más utilizados son los de alimentación frontal, descentrada y Cassegrain.

a) Estructura

Montaje

Los desplazamientos del satélite y el tipo de estación terrena (fija o móvil), así como su posición geográfica y sus aplicaciones determinan la estructura del montaje que la antena debe tener, ya sea de elevación-azimut, X-Y o polar; de estos, el que más se utiliza es el primero, el segundo algunas veces y el tercero casi nunca. Todos tienen dos ejes para realizar los movimientos de orientación de la antena; uno es fijo con relación al piso y se denomina primario, y el otro (secundario) es móvil con referencia al primer eje.

En el caso del montaje **elevación - azimut** (El-Az), la antena tiene su eje primario fijo en la dirección vertical, y al girar alrededor de él se efectúan los cambios del ángulo de azimut, su eje secundario es horizontal y con el se orienta la antena en elevación. Esto se puede apreciar en la siguiente figura (Fig.3-2).



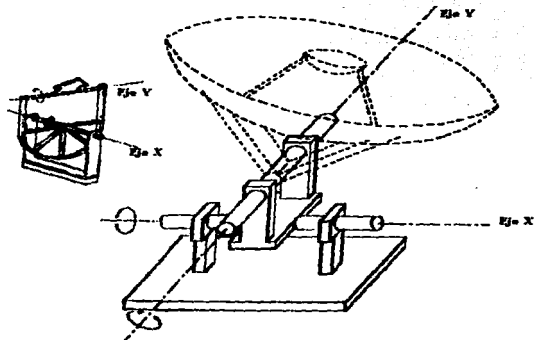
Montaje elevación azimut

Figura 3-2

El montaje es sencillo y tiene la ventaja de que sólo el giro en elevación puede producir deformaciones en la geometría de la antena debidas a su peso. Por esta razón lo utiliza la mayor parte de las antenas que deben conservar una buena precisión geométrica en la superficie de su reflector y en el apuntamiento del haz principal de radiación, por ejemplo, las estaciones internacionales Intelsat A (cuyo diámetro es normalmente de 30 metros) y también muchísimas estaciones domésticas de menor diámetro.

Sin embargo, cuando una estación está cerca del ecuador y necesita funcionar con un sistema de rastreo automático, el montaje El-Az dificulta las maniobras de orientación y es preferible emplear un montaje X - Y.

El montaje X-Y tiene su eje primario colocado horizontalmente, y el eje secundario es perpendicular a él como se ve en la siguiente figura (Fig.3-3).



Montaje X-Y

Figura 3-3

La configuración es práctica para rastrear con facilidad a un satélite cuando éste pasa por el cenit (es decir, directamente arriba de la estación, en la zona ecuatorial), puesto que se evita hacer desplazamientos de la antena tan rápidos como los que sí se necesitan hacer con el montaje El-Az; pero resulta inadecuada para rastrear satélites cerca del horizonte. En general, el montaje X-Y es más apropiado para las antenas que se comunican con satélites de órbita baja que con satélites geostacionarios.

Por lo que respecta al montaje **polar**, su eje primario (horario) es paralelo al eje de rotación de la Tierra, y el secundario es un eje perpendicular de declinación; recibe el nombre de polar ya que el eje primario es paralelo al eje polar de la Tierra. Normalmente se usa para montar radiotelescopios, pues permite que la antena siga a un objeto celeste con sólo girarla sobre su eje horario, y se utiliza muy poco en estaciones terrenas de comunicaciones. Sin embargo, es posible que en el futuro se emplee en mayor grado en estaciones con antenas pequeñas o medianas localizadas en latitudes intermedias, considerando que sus haces de radiación son relativamente anchos y que pueden

orientarse hacia distintos satélites con un solo movimiento alrededor de un eje, sin importar los muy pequeños cambios asociados en la declinación. De cualquier forma, cabe señalar que los ajustes de los ejes horario y de declinación son mucho más complicados que los de orientación con un montaje de elevación-azimut. En la siguiente figura se observa el montaje polar (Fig.3-4).

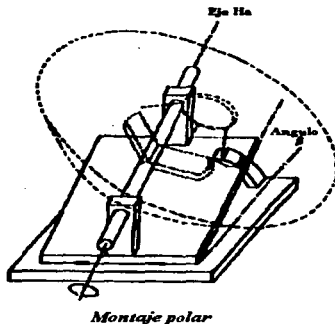


Figura 3-4

Para realizar los ajustes de orientación se emplean mecanismos de engranajes y gatos de tornillo, y las fuerzas motrices se generan por medio de motores. Independientemente del tipo de montaje que se utilice, es preciso indicar que no sólo sirve para conservar la orientación de la antena hacia el satélite, sino que también es la estructura que la soporta.

En consecuencia, el montaje debe ser rígido y con mayor razón a frecuencias altas como la Ku, en donde los haces de radiación de las antenas son más angostos y el apuntamiento correcto se vuelve más importante; aún expuesto a la lluvia o a fuertes vientos, dicho montaje debe ser capaz de soportar a la antena bien orientada hacia el satélite, pues incluso pequeños movimientos de uno o dos centímetros pueden degradar mucho la calidad de la señal.

Acabado

Las antenas de las estaciones terrenas también se pueden distinguir por el acabado de la superficie de la parábola, que es el reflector principal.

Las antenas parabólicas de acabado de **metal troquelado** son, generalmente, de una aleación con base en el aluminio que les proporciona gran rigidez y poco peso. Por su calidad son altamente recomendables para comunicaciones que exigen una gran estabilidad estructural. La exactitud en toda la superficie reflectora debe estar dentro de un rango de 1.2 mm.

Otro tipo son las antenas de **fibra de vidrio**, en las que la parábola está fabricada con fibra epóxica con un baño de aluminio en polvo. Al fabricarse la parábola, primero se hace una base de material plástico, después se baña con el aluminio pulverizado y se termina con otra capa plástica.

Su ventaja contra el tipo anterior es la considerable reducción en el costo, pero, por otro lado, la calidad es menor que las de superficie metálica troquelada, por lo que su uso está circunscrito a las estaciones terrenas que tienen antenas de diámetro pequeño (hasta 4 m) como las estaciones VSAT y que son las que se utilizan generalmente en redes corporativas domésticas en las que la calidad de la señal no es tan crítica como en los enlaces internacionales.

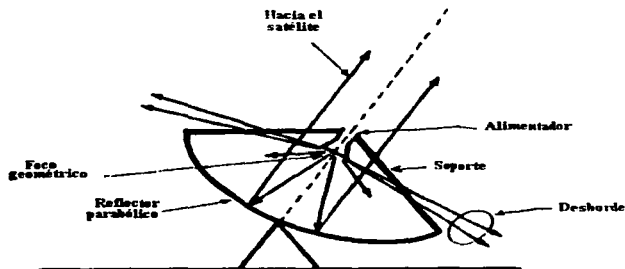
Pudiera ser, dependiendo de la configuración de la red doméstica, que existiera una estación con un tráfico muy alto o una estación maestra con un sistema de monitoreo para controlar y supervisar la red, generalmente en el nodo de mayor tráfico; esta estación seguramente necesitará una antena más grande y más precisa que las demás y por lo tanto el acabado deberá ser de metal troquelado.

Existen también las antenas de **rejilla de alambre**. En este tipo de antenas, la superficie reflectora está terminada con tela de alambre. La calidad de éstas es la menor de las tres expuestas y se usan, generalmente, en estaciones tipo TVRO, que únicamente reciben señales de televisión y en las que la calidad no es muy importante.

h) Sistema de alimentación (radiación)

En una antena parabólica con **alimentación frontal** (también conocida como **prime focus**), el eje del alimentador o corneta coincide con el eje de la antena, y la apertura por la que radia está orientada hacia el suelo. Esto último trae consigo que la energía radiada por el alimentador que se desperdicia por desborde, se refleja parcialmente al tocar el suelo y puede degradar la calidad de la señal transmitida. Asimismo, si la antena está recibiendo del satélite, los rayos que inciden sobre el piso cerca de la antena se pueden reflejar hacia el alimentador, provocando degradación en la señal.

El desborde pudiera ser corregido con una antena de diámetro mayor o un alimentador de haz más directivo, pero éste último, sería mas complicado, costoso y voluminoso. Por otro lado, existe un bloqueo de la señal ya que el alimentador y el equipo electrónico se encuentran instalados por encima, justo en el centro del plato de la antena. Sin embargo, a pesar de estos problemas, esta es una de las antenas más utilizadas hoy en día, sobre todo en aplicaciones dónde no es tan crítica la calidad de la señal, ya que este tipo de antena no tiene un costo elevado. A continuación se muestra la figura de esta antena (Fig3-5).



Alimentación frontal

Figura 3-5

El bloqueo del alimentador, el equipo electrónico y la estructura de soporte se puede eliminar si se utiliza una antena parabólica con **alimentación descentrada** (también llamada *offset*). Esta, sólo emplea una sección del plato parabólico y la apertura del alimentador se gira para que apunte hacia ella; es decir, los ejes del alimentador y del paraboloide no coinciden. Sin embargo, no se resuelve el problema de desborde por las orillas de la superficie parabólica. Estas antenas al igual que las anteriores tienen aplicaciones en redes privadas de datos y telefonía. Su figura se encuentra a continuación (Fig.3-6).

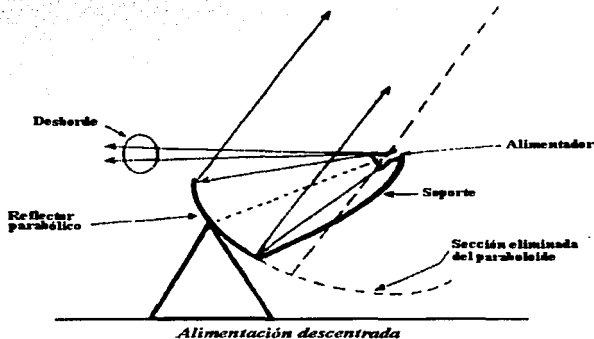


Figura 3-6

La antena **Cassegrain** es mucho más eficiente que cualquiera de los dos tipos ya descritos y su ganancia es mayor, pero su precio es considerablemente más alto. Se utiliza en las estaciones terrenas transmisoras y receptoras de cantidades muy grandes de telefonía y datos, incluyendo desde las pequeñas antenas de las empresas (4-7 m) hasta las medianas y grandes usadas en el servicio público doméstico e internacional (hasta 32 m).

Su configuración geométrica incluye a un segundo reflector con superficie convexa llamado "subreflector", y el alimentador ya no tiene su apertura orientada hacia el plato,

sino hacia arriba como se puede apreciar en la figura (Fig.3-7), por lo que el ruido que se introduce en las señales ya no es generado por reflexiones en la Tierra sino principalmente por emisiones de la atmósfera.

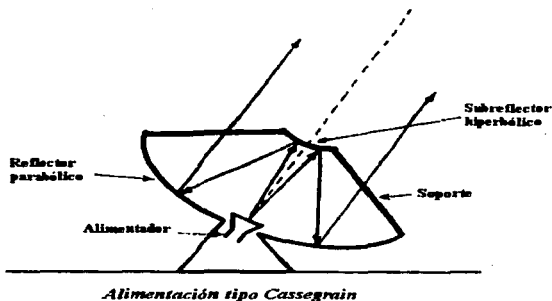


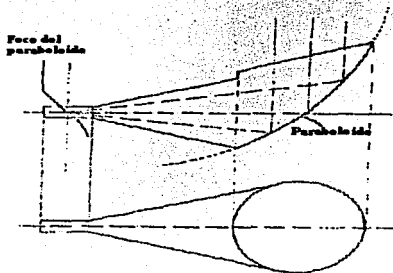
Figura 3-7

En una antena de este tipo los ejes de la parábola, el alimentador y el subreflector coinciden. Además, con el diseño Cassegrain se tiene la ventaja de que el equipo electrónico se puede colocar sin problemas en una pequeña cabina inmediatamente atrás del alimentador y sin importar mucho su peso y dimensiones, reduciéndose así todo tipo de pérdidas por cableado.

En el caso de estaciones muy grandes se tiene la opción de emplear la configuración Cassegrain con alimentador periscópico. Este tipo de antena permite colocar el alimentador y a todo el equipo electrónico asociado en una construcción que, además de protegerlos de las condiciones ambientales, hace al equipo independiente de cualquier movimiento que la antena haga en elevación y azimut. La conducción de las señales desde el alimentador hasta los reflectores parabólico y convexo se realiza por medio de un haz que se refleja en los cuatro reflectores internos del sistema.

Además de los tipos de antenas ya mencionados, existen otros que también son empleados en ciertas aplicaciones, aunque en realidad son muy pocas:

Las antenas tipo **bocina** utilizan una superficie de parábola, recortada como reflector, en donde en una misma estructura se alojan rígidamente el reflector, el radiador y la ventana. Para operar los ejes de azimut y elevación, se necesita mover todo el conjunto; en la siguiente figura (Fig.3-8) se aprecia este tipo de antena.



Antena tipo bocina

Figura 3-8

En la antena **Gregorian**, su estructura se compone de un reflector principal y un reflector secundario que opera con el principio de la doble reflexión al igual que la Cassegrain, pero con una diferencia fundamental, que en la Gregorian el subreflector es cóncavo en vez de convexo como se puede ver en la siguiente figura (Fig.3-9).

Una antena de usos especiales es la denominada **Torus**, que en la práctica, para comunicaciones vía satélite, no se ha desarrollado completamente. Se compone de una sección de una parábola con uno o varios sistemas de alimentadores de antena. Debido a que la estructura reflectora es fija, las partes móviles son los alimentadores.

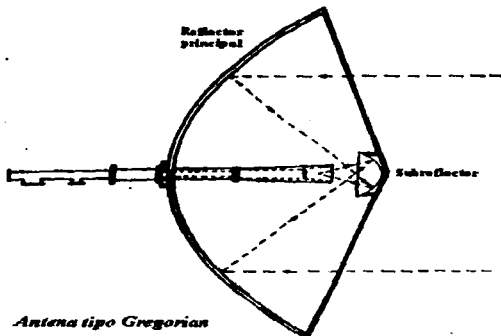


Figura 3-9

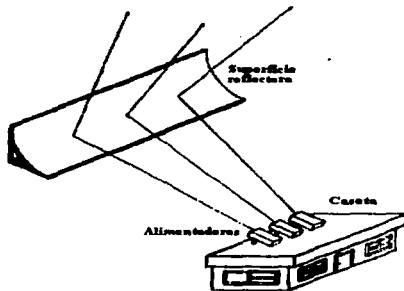
Tiene la ventaja de que la superficie reflectora puede ser de grandes dimensiones y con cobertura a varios satélites, pero, cuanto mayor sea esta superficie, más complejos serán los sistemas radioalimentadores. Este tipo de antena se aprecia en la figura correspondiente (Fig.3-10).

De cualquier forma, las antenas parabólicas de alimentación frontal, descentrada y Cassegrain son las más aceptadas y las que se utilizan para redes de comunicación vía satélite de datos, voz y video.

3.2 Equipo de transmisión

Las estaciones terrenas que se utilizan en las redes corporativas domésticas e incluso internacionales cuentan con un solo bloque de transmisión como el que se muestra en el diagrama (Fig.3-11); en algunos casos, dentro de ese bloque existe equipo paralelo, es decir, se encuentra duplicado y ese segundo equipo se denomina equipo redundante o de respaldo. Usualmente, en lo que respecta a redes corporativas domésticas e incluso con

algún enlace fuera del país, que son las que nos interesan en este estudio y que denominaremos con el término red de aquí en adelante, no todas las estaciones deben ser redundantes, al contrario típicamente son las menos y éstas se definen en base a la importancia que cada estación tiene para la red y para la empresa, y por supuesto, en base al presupuesto disponible para el proyecto.



Antena tipo Torus

Figura 3-10

Muchas veces existen nodos dentro de la red en los que no es tan crítico que se presente una falla y dejen de operar durante uno o dos días, que debe ser el tiempo máximo de atención en campo para la corrección del problema, ya que o no manejan un volumen de información importante o poseen otros medios que pueden ser utilizados en caso de emergencia como lo son líneas telefónicas.

Sin embargo, cabe mencionar que existen otros tipos de estaciones que conducen gran cantidad o diversidad de señales y que tienen varios bloques de transmisión en paralelo, como lo son las estaciones que rentan servicios internacionales en los que, si es sumamente importante contar con equipo de respaldo para evitar cortes en los servicios.

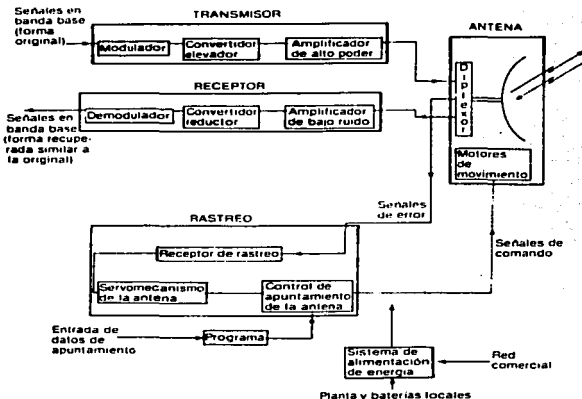


Figura 3-11

El equipo transmisor consiste básicamente en tres módulos: modulador, convertidor-elevador y amplificador de alta potencia. Después de que una señal ha sido generada o producida, ya sea que consista de canales telefónicos, de televisión o de datos, y una vez hechas las combinaciones necesarias de multiplexaje en frecuencia o en el tiempo, si es que el tráfico así lo requiere, se necesita acondicionarla para que pueda ser radiada eficientemente a través del aire, hacia el satélite, sin que sea interferida o interfiera con otras señales; este acondicionamiento permite que también se le pueda recuperar con la mejor calidad posible en la estación terrena receptora, aunque su nivel de potencia sea sumamente bajo al llegar. El proceso electrónico que se efectúa con este fin es la modulación de una portadora por la señal y existen varios tipos del mismo; los más comunes son el análogo de modulación en frecuencia o FM y el digital de desplazamiento de fase o PSK.

El **modulador** de la estación combina la forma de la señal original con la señal portadora, modificando el ancho de banda de frecuencias y la posición de la información dentro del espectro radioeléctrico, la cual es transferida a frecuencias más altas; este paso de la señal modulada a "frecuencia intermedia" es el primero en su ascenso de conversión a frecuencia en bandas "Ku o C", que son las utilizadas generalmente para la transmisión hacia el satélite.

Aunque el modulador coloca a la señal modulada en una región más alta del espectro radioeléctrico, la frecuencia intermedia (FI) no es adecuada todavía para radiarla eficientemente a través de la atmósfera. Por lo tanto, es necesario subirla más en frecuencia, empleándose para ello un equipo convertidor-elevador de frecuencia.

El **convertidor-elevador** transfiere a la señal, de la frecuencia intermedia, que dependiendo del equipo, puede tener una frecuencia central de 70 MHz, 140 MHz, 1GHz, o más, a una posición dentro del espectro radioeléctrico en donde la frecuencia es mucho más alta que cuando salió del modulador; por ejemplo, la señal nueva puede estar centrada aproximadamente a 6 GHz, banda C, o a 14 GHz, banda Ku. La señal tiene ahora la frecuencia apropiada para poder ser radiada hacia el satélite, pero su nivel de potencia es aún muy bajo, por lo que es preciso amplificarla antes de entregársela a la antena; para esto se utiliza un **amplificador de alta potencia**, conocido también como **IIPA**, del cual existen dos tipos: el tubo de ondas progresivas, TOP o TWT, y el klistrón.

Un tubo de ondas progresivas es un amplificador de ancho de banda muy grande, que abarca todas las frecuencias utilizables del satélite (500 MHz o más en algunos casos), por lo que puede amplificar simultáneamente a señales dirigidas hacia distintos transpondedores del mismo. Sus características de operación son uniformes o constantes a cualquier frecuencia, pero cuando se amplifican simultáneamente muchas señales distintas, su potencia de salida no se puede aumentar al máximo; de hacerlo, el ruido de intermodulación sería muy grande. Para reducir el ruido, es necesario operar el amplificador en un nivel de potencia de salida bajo, con la consiguiente pérdida de potencia en relación con la potencia máxima nominal de salida (backoff). A pesar de este inconveniente, el uso de los tubos de ondas progresivas es más común que el de los klistrones, dado que la potencia de un amplificador klistrón como mínimo es de 400 watts, demasiado para una red como las estudiadas aquí y que más bien reciben aplicación, por ejemplo, en estaciones transmisoras de televisión o de servicios internacionales.

Además, una de sus ventajas sobre el klistrón es que se puede efectuar cualquier modificación en la frecuencia central de amplificación, dentro del ancho de banda de operación del satélite (500 MHz o más), sin tener que sintonizarlo, como sí es el caso de los klistrones, además de que no hay que emplear un combinador de señales a la salida.

Un **klistrón** es un amplificador de banda estrecha, suficiente para manejar uno o dos canales de televisión, varios cientos de canales telefónicos o algunos canales de datos de muy alta velocidad de transmisión. Cuando una estación terrena tiene varios klistrones y desea transmitir toda la información procedente de ellos a través de una misma antena, se necesita usar un combinador de señales, que introduce pérdidas de potencia similares en magnitud a las producidas por backoff en los tubos de ondas progresivas.

Algunos usuarios aún eligen klistrones para sus instalaciones, porque su eficiencia de aprovechamiento de energía eléctrica es mayor que la de los TOP, son muy confiables, duran mucho tiempo en servicio, y además son más económicos que un tubo de ondas progresivas. De cualquier forma, los incluimos a manera de conocimiento general, ya que como se mencionó anteriormente, la potencia más pequeña disponible son 400 watts, demasiado para una red de este tipo.

En general, un canal telefónico consume aproximadamente 1 watt de potencia, mientras que uno de televisión emplea 1 kilowatt; por lo tanto las estaciones terrenas pequeñas, que sólo tienen necesidad de transmitir algunos canales telefónicos, a veces nada más uno, o datos de baja velocidad, 1.2 a 512 kilobits por segundo aproximadamente, no requieren contar con amplificadores tan potentes como los tubos de ondas progresivas o los klistrones. Gracias a la ganancia de su antena parabólica, y debido a que el tráfico que transmiten es bajo y ocupa muy poco ancho de banda, usan **amplificadores de baja potencia** o LPA hechos con tecnología de estado sólido. Algunos amplificadores nuevos de este tipo alcanzan potencias de 100 watts, lo cual ya es considerable, si se toma en cuenta que esta potencia es suficiente para cubrir las necesidades de una antena maestra en una red de tamaño considerable (dependiendo de la cantidad de tráfico y del tipo de equipo, hasta 400 estaciones aprox.).

Los procesos de modulación y conversión de frecuencia anteriores a esta etapa de amplificación son los mismos ya explicados, simplemente el amplificador de alta potencia se sustituye por uno de baja potencia. En la siguiente tabla (Tab.3-1), se

encuentran los amplificadores de potencia mas comunes en el mercado y sus principales características.

	Banda C (5.925 - 6.245 GHz)		Banda Ku (14 - 14.5 GHz)	
	Ancho de banda (MHz)	Potencia de salida (watts)	Ancho de banda (MHz)	Potencia de salida (watts)
Tubo de ondas progresivas (TOP)	500	50 - 10,000	500	50 - 3000
Klistrón	40/80	400 - 5,000	100	1,500 - 2,000
Estado sólido (FET)	500	5 - 100	500	1 - 100

Características usuales de los amplificadores de potencia

Tabla 3-1

Sea cual sea el tipo de amplificador que se utilice y su potencia nominal de salida, siempre es deseable que la temperatura física de sus componentes se mantenga lo más baja posible; con esto, la temperatura equivalente del ruido producido por el amplificador se reduce y, en consecuencia, la eficiencia del dispositivo aumenta. Normalmente, los amplificadores se enfrían con ventilación forzada (refrigeración por aire), pero cuando son de alta potencia es necesario utilizar enfriamiento con agua incluso combinado con aire.

Generalmente, el nivel de potencia a la salida del convertidor-elevador es bajo en comparación con el que debe aplicarse a la entrada del amplificador de potencia para que este funcione adecuadamente. Por lo tanto, es común añadir un **amplificador excitador**, también llamado driver, entre el convertidor de frecuencia y el amplificador de potencia, como una etapa de amplificación a nivel de potencia intermedia; este amplificador excitador también recibe el nombre de preamplificador.

Por último, es importante señalar que, antes de su adquisición, las características de un amplificador de potencia se deben determinar tomando en cuenta el posible crecimiento futuro del tráfico de la estación terrena; es decir, que aún cuando en un principio el

amplificador tenga que operar en un nivel bajo para su capacidad, sea capaz de suministrar los requerimientos de potencia y ancho de banda de futuras señales adicionales que la estación deba transmitir durante los años siguientes de su vida útil; desde luego, el costo y la rapidez prevista de crecimiento del tráfico influirán en la decisión final sobre el amplificador y el diseño general de la estación terrena.

3.3 Equipo de recepción

Como ya se ha visto, un satélite de comunicaciones funciona como un gran espejo directivo en el espacio; la señal retransmitida por él es igual a la que recibe desde la estación terrena transmisora, con la diferencia de que es colocada en una región de frecuencias más bajas en el espectro radioeléctrico y, por supuesto, es amplificada.

En su trayectoria de regreso hacia la Tierra, la señal viaja un promedio de 36,000 km y, por lo tanto, su nivel de potencia al llegar a las antenas de las estaciones receptoras es sumamente bajo. En el diagrama que se encuentra en la sección anterior (Fig.3-11) se muestra la configuración básica del bloque de recepción.

La antena recibe simultáneamente todas las señales transmitidas por el satélite en la polarización y banda de frecuencias con las que ella funciona, es decir, información de muy diversos tipos dentro de un ancho de banda usual de 500 MHz; sin embargo, lo común es que en cada estación en particular solamente sea de interés recibir una pequeña porción de toda esa información, concentrada quizá en un ancho de banda de tan sólo 5 MHz o aun menos. Es decir, que la estación después de capturar y amplificar toda esa información, debe separar sólo aquella parte que le corresponda para procesarla.

La antena recibe las señales provenientes del satélite y a través del diplexor, el diplexor se encuentra antes o después, según se vea, del alimentador y canaliza tanto las señales que provienen del amplificador de potencia como las que llegan al equipo de recepción, se las entrega a un **amplificador de bajo ruido**; éste, funciona similarmente al amplificador de bajo ruido del satélite, por las mismas razones de que a su llegada la señal tiene una intensidad muy baja y es muy vulnerable ante cualquier ruido que se le pueda añadir antes de ser amplificada a un nivel aceptable.

La antena y el amplificador de bajo ruido son los elementos más importantes de una estación terrena receptora y juntos definen la calidad de su operación.

El amplificador de bajo ruido tiene una "temperatura de ruido" como su principal parámetro indicativo, y mientras ésta sea más baja es mejor, porque el ruido que se añade a la señal es menor y la calidad de recepción aumenta. La temperatura de ruido del amplificador es función de varios de sus parámetros, como su ganancia, las características de sus componentes y su temperatura física. Si la temperatura física se logra reducir, entonces la "temperatura de ruido" también baja; por lo tanto es deseable enfriar al amplificador lo más que se pueda, muchas veces hasta temperaturas cercanas al cero absoluto, además de colocarlo lo más cerca posible del diplexor de la antena para reducir las pérdidas.

La mayor parte de los amplificadores de bajo ruido son "paramétricos", pero en los últimos años se ha logrado un progreso importante en la fabricación de amplificadores con transistores de efecto de campo (FET). Estos últimos son más estables, aunque su temperatura de ruido es ligeramente mayor que la de los amplificadores paramétricos. Por norma general, las estaciones grandes usan amplificadores paramétricos y las pequeñas amplificadores FET.

La temperatura de ruido usual con la que operan los amplificadores actuales es del orden de unas cuantas decenas de grados Kelvin, o cuando mucho unos 250 °K. La tecnología desarrollada hasta ahora en la banda C ha permitido fabricar fácilmente amplificadores con temperaturas inferiores a los 100 °K, pero en la banda Ku es más común encontrarlos con temperaturas entre los 100 y 200 °K. Sin embargo, es importante mencionar que un valor elevado de la temperatura de ruido del amplificador importa menos en la banda Ku que en la banda C, dado que las antenas que trabajan en banda Ku poseen una temperatura de ruido superior a la de éste.

La temperatura física del amplificador se puede controlar por diversos medios: refrigeración criogénica, termoeléctrica o por compensación de temperatura. La **refrigeración criogénica** incluye dispositivos con partes móviles y consiste básicamente en un sistema de circulación de helio gaseoso, alcanzándose temperaturas cercanas a los menos 250 °C.

Se utilizaba en casi todas las estaciones internacionales estándar A de Intelsat hasta principios de los años setenta, pero en las estaciones modernas ya no se emplea, principalmente porque es cara y su mantenimiento es complejo; el avance de la tecnología ha permitido fabricar amplificadores que sin ser refrigerados criogénicamente tienen temperaturas de ruido bajas.

Con el sistema de **refrigeración termoelectrica** se logra reducir la temperatura de los componentes sensibles del amplificador hasta unos $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$; tiene la ventaja de que no requiere ninguna parte móvil, además de que se instala directamente dentro del dispositivo, en una caja sellada herméticamente, lo cual le da mucha resistencia y facilidad de mantenimiento. La refrigeración opera con diodos que aprovechan el efecto Peltier, descubierto por el físico francés del mismo apellido hace más de cien años, y que comenzó a utilizarse en la década de los sesenta para producir comercialmente la refrigeración termoelectrica. Este efecto consiste en que cuando se aplica una corriente eléctrica en un circuito hecho con la unión de dos conductores distintos, uno se calienta y el otro se enfría, y el efecto es mayor cuando los materiales de la unión son semiconductores. Los amplificadores de bajo ruido con este tipo de refrigeración interna pueden funcionar sin ningún problema a la temperatura ambiente.

En cuanto a la **refrigeración por compensación de temperatura**, ésta se utiliza cuando no es necesario que la temperatura de ruido sea muy baja; emplea sistemas de control más sencillos que los de la refrigeración termoelectrica, es muy confiable, y también puede usarse a temperatura ambiente (considerada comercialmente de 0 a $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Actualmente, la elección normal para las estaciones grandes o de tamaño medio es la de usar amplificadores paramétricos, o incluso FET, con refrigeración termoelectrica, mientras que en el caso de las pequeñas, como las que nos interesan, es más común el empleo de los FET con refrigeración por compensación de temperatura. En la siguiente tabla (Tab.3-2) se encuentran los amplificadores de bajo ruido más comunes en el mercado.

En muchos casos, la contribución de ruido de un amplificador se expresa en función de un factor de ruido F , en lugar de su temperatura de ruido equivalente T expresada en grados Kelvin.

	Tipo	Forma de refrigeración	Temperatura de ruido típica (°K)
Banda C (3.7 - 4.2 GHz)	Paramétrico	Criogénica	15
	Paramétrico	Termoeléctrica	35 - 40
	Paramétrico	Compensación de Temperatura	50 - 60
	FET	Termoeléctrica	45 - 60
	FET	Compensación de Temperatura	75
Banda Ku (11.7 - 12.2 GHz)	Paramétrico	Criogénica	20
	Paramétrico	Termoeléctrica	80 - 100
	Paramétrico	Compensación de Temperatura	100 - 150
	FET	Termoeléctrica	90 - 140
	FET	Compensación de Temperatura	200 - 250

Amplificadores de bajo ruido disponibles en el mercado

Tabla 3-2

Los dos parámetros F o T, son igualmente indicativos de la propiedad del amplificador de introducir menos o más ruido según sus características de diseño, pero por norma general es más común que en la banda C se defina a T y en la banda Ku se prefiera emplear el factor de ruido F. Ambos parámetros están relacionados entre sí mediante una expresión muy sencilla ($T = 290[F-1]$) que demuestra que cuanto sea más pequeño el factor de ruido será mejor; este factor se expresa en decibeles y su valor en los amplificadores comerciales varía normalmente entre 1.5 y 3.0 dB (apéndice 1: El decibel o dB). Cuando se desea hacer la conversión del factor ruido a la temperatura de ruido, es preciso primero "convertir" F de decibeles a su valor numérico equivalente por medio de la siguiente expresión: llamándole F' al valor numérico equivalente, $F' = \log^{-1}[F/10]$ o lo que es lo mismo $F' = 10^{(F/10)}$; por ejemplo, si un amplificador tiene una F de 2 dB, entonces $F' = 10^{(2/10)} = 1.5849$, por lo tanto $T = 290 (1.5849 - 1) = 170$, es decir, su temperatura de ruido es igual a 170 °K.

En la figura (Fig.3-11), se observa que después del amplificador de bajo ruido van conectados en cadena un convertidor reductor de frecuencias y un demodulador.

La señal de salida del amplificador contiene toda la información radiada por el satélite en una banda de operación con ancho de 500 MHz, situada aún en la misma región del espectro radioeléctrico en que llegó del satélite (banda C o Ku); el **convertidor reductor** tiene como función transferir toda esa información de 500 Mhz a una región más baja dentro del espectro, centrándola en una frecuencia intermedia (FI) de recepción, es decir, haciendo una operación inversa al convertidor elevador de la parte transmisora.

Algunos fabricantes producen el amplificador de bajo ruido o LNA integrado al convertidor reductor de frecuencia en un solo bloque; ambos van contenidos dentro de la misma caja blindada y el producto se conoce como "convertidor de bajo ruido" o LNC, o como "convertidor reductor de bloque de bajo ruido" o LNB. En la mayor parte de las estaciones terrenas el convertidor reductor se instala a unos 10 metros de distancia como máximo del amplificador de bajo ruido (LNA), con el fin de minimizar las pérdidas de los cables..

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

3.4 Multiplexores

El multiplexor no es propiamente equipo perteneciente a una estación terrena, ya que ésta puede operar sin él, pero es importante tomarlo en cuenta a la hora de planear una red de comunicación vía satélite ya que es el punto dónde se conecta todo el equipo de la estación con el equipo -de cómputo, telefonía, video, etc.- que va a producir o recibir la información que más tarde será transmitida a través de la red.

La instalación de un multiplexor depende de las características y el equipo que se vaya a querer conectar a la red, así como de las características del equipo de comunicación vía satélite, que varían de fabricante a fabricante. Por ello, para resolver esta situación, es

conveniente definir las necesidades de transmisión y promover una reunión entre el proveedor del equipo a conectar y el proveedor del equipo de comunicación satelital para que cada uno exponga sus necesidades y se defina si es o no necesario la instalación de este equipo. En caso de ser necesario, un multiplexor se colocaría antes del bloque de transmisión en la estación transmisora y un demultiplexor después del bloque de recepción en la estación receptora.

Los multiplexores son transparentes a códigos y procedimientos empleados por las fuentes y colectores de información a los que son conectados. El papel principal de un multiplexor es combinar los datos provenientes de varias vías de transmisión, llamados "vías de baja velocidad", en un solo tren de datos sobre una vía, llamada "vía de alta velocidad", o vía compuesta.

El multiplexaje, es una manera de utilizar el mismo medio de transmisión para distintos usuarios. Hay varias formas en que las señales pueden ser multiplexadas, las principales son:

- Multiplexaje por división de frecuencia
- Multiplexaje por división de tiempo

En el multiplexaje por **división de frecuencia** (FDM) a cada canal del sistema se le asigna una porción del espectro de frecuencia transmitido. Así, muchos canales de ancho de banda reducido pueden ser acomodados en un sólo sistema de transmisión de grueso ancho de banda.

Un problema en FDM, es el de multiplexar varios canales, cada uno de los cuales ocupa la misma porción del espectro de frecuencia. Entonces, la operación de multiplexaje involucra un corrimiento en frecuencia de cada canal antes de embarcarlo sobre una facilidad de banda-ancha. En el extremo receptor, cada canal tendrá que ser corrido a su posición correcta en el espectro de frecuencias.

El multiplexaje por **división de tiempo** como su nombre lo indica, se trata simplemente del compartimiento de una facilidad común en tiempo. Por ejemplo, puede ser usado en comunicaciones telefónicas; la mayoría de los teléfonos está en uso sólo una pequeña porción del tiempo, así, varios teléfonos pueden compartir en tiempo una línea común.

3.5 Subsistemas auxiliares

Como subsistemas auxiliares, existen básicamente el de control de la temperatura y el de alimentación de energía. Referente al control de temperatura regulado, la mayoría de las veces se cuenta con un área de cómputo que ya posee un sistema de aire acondicionado o si no existe ningún área, a menos que se trate de una estación terrena maestra en dónde la cantidad de equipo es mayor, bastará con reservar un área pequeña y colocar un aparato de aire acondicionado de suficiente capacidad para mantenerlo frío, incluso en la época más calurosa.

Por otro lado, el tipo de servicio que una estación terrena presta determina la complejidad y confiabilidad necesarias de su sistema de alimentación de energía. Por tal razón, muchas estaciones transmisoras y receptoras necesitan contar en sus propias instalaciones con un sistema de alimentación de energía ininterrumpida; es decir, que si la luz comercial o primaria se va, la conmutación o cambio al sistema de energía de respaldo debe ser rápida, sin ninguna interrupción del servicio. Típicamente, este sistema se compone de un regulador de voltaje, un generador, un banco de baterías y un switch para hacer el cambio del servicio comercial al sistema de energía cuando exista algún corte en el servicio comercial.

*C
U
A
T
R
O*

4.1 Técnicas de acceso al satélite

El **acceso múltiple** se define como la capacidad de un gran número de estaciones terrenas para interconectar sus enlaces de comunicación correspondientes a través de un satélite común.

Como se mencionó en el capítulo anterior dentro del punto 3.2 (Equipo de transmisión), el satélite tiene frecuencias utilizables dentro de un ancho de banda de 500 MHz. En el caso de los satélites del sistema Morelos este ancho de banda se divide en transpondedores de 36 y 72 MHz en banda C y 108 MHz en banda Ku. En el caso de los satélites del sistema Solidaridad serán de 36 y 72 MHz en banda C, 54 MHz en banda Ku y 15 MHz en banda L. Esto significa que el amplificador de cada transpondedor puede darle cabida a una gran diversidad de información que ocupe en total el ancho de banda de éste.

Sin embargo, cada estación terrena no tiene necesariamente el suficiente tráfico para generar información que ocupe todo ese ancho de banda y que pueda enviar con una sola frecuencia portadora determinada. Se le llama frecuencia portadora o simplemente portadora al medio a través del cual la estación envía la información al satélite o la recibe. Esta es una señal de alta frecuencia y es modulada por la información que se desea portar o transmitir sobre ella.

Si una sola estación pudiera transmitir la suficiente información para utilizar los 36 MHz de ancho de banda de un transpondedor de banda C, por ejemplo, solamente habría una frecuencia portadora presente en el amplificador de potencia de éste y no se produciría ruido de intermodulación al no existir otras frecuencias; esto permitiría aprovechar al máximo la potencia de salida del amplificador. Pero en realidad, éste es un caso muy especial, y lo normal es tener agrupaciones de canales que ocupan menos de 36 MHz de ancho de banda.

4.1.1 Acceso múltiple por división en frecuencia

Supongamos que tenemos tres estaciones A, B y C. Si las tres estaciones transmiten al mismo tiempo, deben hacerlo con frecuencias portadoras diferentes para que no haya interferencia. Si la suma de los anchos de banda (el ancho de banda de cada estación se compone por la o las portadoras que dicha estación utiliza) que requieren las tres estaciones individualmente da un total cercano a los 36 MHz, entonces las tres ocuparán el mismo transpondedor del satélite, separadas por bandas de guarda como se puede apreciar en la siguiente figura (Fig.4-1).

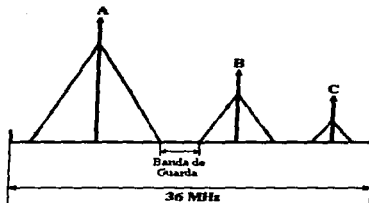


Figura 4-1

Esta forma de uso simultáneo del transpondedor por varias estaciones terrenas recibe el nombre de **acceso múltiple por división en frecuencia** o FDMA. En esta técnica, el ancho de banda del transpondedor se divide en secciones o ranuras, cada una con su propia frecuencia, que son asignadas a cada una de las estaciones.

Dentro de la técnica de acceso FDMA, existen dos tipos de asignación de frecuencias a las estaciones y también dos tipos de portadoras. Como ya se mencionó, la base de esta técnica es la división del transponder del satélite en secciones con una frecuencia propia (frecuencia portadora): ahora bien, si la configuración es rígida e invariable, esto es, que cada estación transmite siempre con la misma frecuencia portadora, se le denomina acceso múltiple por división en frecuencia con **asignación fija**. Esta variante es justificable cuando se puede garantizar que, durante la mayor parte del tiempo cada estación mantendrá activo ese ancho de banda que se le asignó.

Dentro de lo normal, en una red de tipo doméstico privada es difícil encontrar una estación que utilice asignación fija para transmitir; sin embargo se dan algunos casos como por ejemplo redes bancarias en donde se realizan infinidad de transacciones entre diferentes plazas. En el caso concreto de México, la información por lo general se encuentra concentrada en la ciudad de México; al tener lugar una descentralización y a su vez creación de centros regionales se vuelve más frecuente encontrar enlaces de alta capacidad utilizando asignación fija entre ciudades como el D.F. con Guadalajara, Monterrey, Puebla, Tijuana, etc.

Pero cuando ocurre que se tienen enlaces en los que se requiere comunicación intermitente, es decir, existen espacios de tiempo en que el ancho de banda asignado está sin utilización, con la técnica anterior se estaría desperdiciando espacio muy valioso y por lo tanto, se requiere algo más flexible; la alternativa se denomina acceso múltiple por división en frecuencia con asignación por demanda o DAMA.

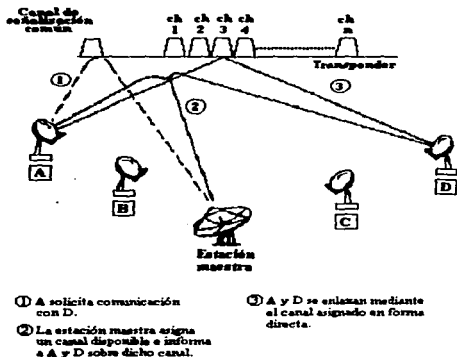


Figura 4-2

La técnica de acceso múltiple DAMA permite aprovechar al máximo las ranuras de frecuencia del satélite cuando el tráfico que genera cada estación es esporádico, ya que las frecuencias se asignan a las estaciones terrenas solamente durante el tiempo que las necesitan para realizar la comunicación; en el momento en que alguna deja de transmitir, esa frecuencia se libera y queda disponible para cualquiera otra de las estaciones del sistema que la solicite. Cuando la estación que la liberó quiera volver a transmitir, le será asignada cualquier frecuencia que se encuentre disponible. Por supuesto, la estación debe estar debidamente equipada para utilizar distintas frecuencias. En la anterior figura (Fig.4-2) se explica el funcionamiento de un sistema con este tipo de acceso.

El método DAMA es análogo a un conmutador telefónico. Cuando un abonado "descuelga" y toma la línea, al marcar se establece la conexión y cuando se completa la llamada y se "cuelga", la trayectoria de voz del conmutador regresa a su condición de "libre" y queda lista para su uso por otro abonado.

Cada vez que una estación terrena desea iniciar una transmisión, debe solicitarle antes a un banco de frecuencias que le asigne una de ellas para su portadora; este mismo banco de frecuencias se comunica con el punto de destino para informarle que se le va a transmitir y en que frecuencia debe sintonizarse para que reciba la señal; solamente hasta que la estación transmisora y la receptora hayan recibido la asignación de sus frecuencias de operación, se puede iniciar el enlace (Fig.4-2).

Se dispone de tres métodos para el manejo de DAMA:

- El método por exploración
- El acceso aleatorio con control central
- El acceso aleatorio con control distribuido

En el método por exploración, una estación maestra "explora" sucesivamente todas las otras estaciones del sistema; cuando recibe una respuesta afirmativa de alguna de ellas, le asigna una frecuencia. Conforme aumenta el número de estaciones, el intervalo de exploración se vuelve más largo y el sistema tiende a ser más difícil de manejar; éste último aspecto no es importante cuando se trata de redes hasta con cincuenta estaciones.

En el método de acceso aleatorio con control central, el estado de los canales se coordina mediante una computadora central que generalmente se localiza en la estación terrena maestra; las solicitudes de llamada pasan a la computadora central y se asigna una

frecuencia de entre las que se encuentren disponibles. Una vez que se completa la llamada y el abonado cuelga, la frecuencia regresa al banco de demanda y acceso.

En el acceso aleatorio con control distribuido se usa un procesador de control en cada estación terrena del sistema. Todas las estaciones de la red monitorean el estado de todas las frecuencias y el estado de éstas se actualiza continuamente mediante un canal de servicio. Cuando se toma una frecuencia libre se informa a todos los usuarios y se quita a ésta del banco; cuando la frecuencia regresa a la condición de libre se transmite información similar a todas las estaciones. Este último método para el manejo de DAMA es más costoso, especialmente en sistemas grandes con muchos usuarios; para sistemas internacionales es más atractivo, ya que elimina la "política" de la estación maestra.

Aunque parezca un procedimiento complicado y lento para obtener la frecuencia a la que se va a transmitir e iniciar la transmisión, éste es casi imperceptible para el usuario del servicio. Se necesita hacer un cálculo de tráfico para obtener el número máximo de llamadas en hora pico y por lo tanto el número de frecuencias portadoras que se necesitarán para todo el sistema. Es conveniente aclarar que el número de llamadas pico será la mitad del número de frecuencias necesarias, ya que para cada conversación se necesita una frecuencia de transmisión y una de recepción; por ejemplo, si el número máximo de llamadas son treinta se necesitarán treinta frecuencias de transmisión y treinta de recepción, en total sesenta portadoras.

Por otro lado y como ya se mencionó al inicio de esta sección existen dos tipos de portadoras, dependiendo de cuantos canales se transmitan a través de cada una. Cuando el ancho de banda de cada portadora es ocupado por un solo canal, no importando si es telefónico, de datos, etc., recibe el nombre de **canal único por portadora** o SCPC.

Cuando se tienen varios canales a través de la misma portadora, ésta recibe el nombre de **portadora multicanal** o MCPC. Una portadora multicanal transporta muchos canales que han sido previamente combinados en forma adecuada, mediante alguna técnica de multiplexaje.

4.1.2 Acceso múltiple por división en el tiempo

El **acceso múltiple por división en el tiempo** o TDMA es una técnica totalmente digital. A diferencia del acceso múltiple por división en frecuencia, en donde cada estación transmisora tiene asignada una ranura de frecuencias dentro del transpondedor, normalmente con un ancho de banda diferente, en esta técnica todo un grupo de estaciones tiene asignada la misma ranura, con cierto ancho de banda fijo, y se comparte entre ellas secuencialmente en el tiempo; es decir, cada estación tiene asignado un tiempo T para transmitir su información, y cuando su tiempo se agota debe dejar de transmitir para que lo hagan las estaciones que le siguen en la secuencia, hasta que le toque nuevamente su turno. En las siguientes figuras se observa este sistema de acceso en el modo de transmisión de maestra a remotas (TDM), y en el de transmisión de remotas a maestra (TDMA), (Figs.4-3 y 4-4 respectivamente).

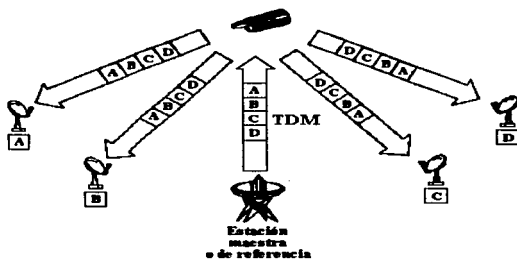


Figura 4-3

El tiempo asignado a cada estación no es necesariamente igual en todos los casos, puesto que algunas estaciones conducen más tráfico que otras y, por lo tanto, se les asigna una ranura de tiempo más larga que a las estaciones chicas. Estos tiempos asignados pueden ser fijos o bien pueden variar cuando algunas estaciones tengan exceso de tráfico (horas pico), es decir, se puede programar en el controlador central para que el marco o trama de transmisión que se compone de las ranuras de tiempo para cada estación, cambie al llegar

una hora del día en que el tráfico alcanza su nivel pico en algunas estaciones asignándoles a éstas un tiempo mayor y recortando el tiempo de las estaciones con menor tráfico.

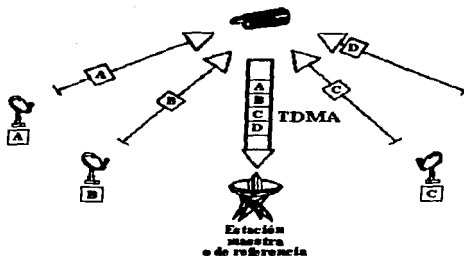


Figura 4-4

La duración usual de un marco o trama es de unos cuantos milisegundos y se requiere contar con un mecanismo confiable de sincronización, para que no haya traslapes entre las transmisiones de las diversas estaciones. Un sistema TDMA es más complejo que uno de FDMA y necesita una buena coordinación entre todas las estaciones terrenas de la red que lo usan y una estación de referencia; además, como las estaciones transmiten en forma de ráfaga a intervalos con duración de una pequeña fracción de milisegundo, deben contar con módulos de almacenamiento que van liberando la información por paquetes en cada ráfaga.

Con la técnica TDMA se puede ocupar el transpondedor del satélite por completo con una portadora modulada; como sólo hay una portadora presente en cada instante dentro del amplificador de potencia del transpondedor, no hay ruido de intermodulación y se puede aprovechar al máximo la potencia de salida, beneficiándose de esta forma todas las estaciones terrenas que lo utilizan.

Sin embargo, lo normal es que no suceda esto ya que el tráfico manejado por una red de estaciones generalmente no es tan grande y en cada transpondedor hay más de una frecuencia portadora. En estos casos se comparte el ancho de banda del transpondedor en

Técnicas de acceso y parámetros importantes en el diseño de una red de comunicación vía satélite

FDMA con los servicios prestados por otras estaciones independientes de la red TDMA, sin perderse la flexibilidad que brinda ésta técnica. Por supuesto, en este caso ya no es posible utilizar la máxima potencia de salida del amplificador, ya que se desea reducir al mínimo posible el ruido de intermodulación. A continuación se encuentra una tabla (Tab.4-1) dónde se enlistan las ventajas y desventajas de un sistema FDMA y uno TDMA.

Técnica de acceso	Ventajas	Desventajas
FDMA	<p>La disponibilidad del canal es total.</p> <p>No se requiere un sistema de control central.</p> <p>Usuarios con diferentes necesidades de capacidad se acomodan fácilmente.</p> <p>No se requieren estaciones muy sofisticadas.</p>	<p>Se tiene que reducir la potencia de salida del amplificador del transpondedor para minimizar el ruido de intermodulación.</p> <p>Es un sistema rígido: es difícil reasignar los recursos para soportar los cambios en el tráfico.</p>
TDMA	<p>Se utiliza por completo el ancho de banda y la potencia de salida del amplificador del transpondedor.</p> <p>No se utilizan complicados asignamientos de frecuencia.</p> <p>Usuarios con diferentes necesidades de capacidad se acomodan fácilmente.</p> <p>Es un sistema flexible: los recursos son fácilmente reasignados.</p>	<p>Las bandas de guarda reducen la potencia de salida del amplificador del transpondedor.</p> <p>Se requiere un sistema de control central.</p> <p>Se necesitan estaciones terrenas de más alto costo.</p>

Ventajas y desventajas de FDMA y TDMA

Tabla 4-1

4.2 Parámetros importantes en el diseño de una red de comunicación vía satélite

La propagación de las ondas radioeléctricas entre un satélite y una estación terrena es, en gran medida, simple comparada con la propagación entre dos puntos sobre la superficie terrestre, ya que generalmente la influencia del suelo no es significativa, con lo cual se eliminan todos los fenómenos de reflexión y difracción que son bastante importantes en el caso de los enlaces terrestres. Por lo tanto, en el análisis de un enlace vía satélite se considera únicamente la refracción de las ondas en su trayecto por la tropósfera y la ionósfera.

De acuerdo con la meteorología, la tropósfera se extiende prácticamente desde el nivel del suelo hasta una altura de 30 km aproximadamente, y la ionósfera se encuentra entre los 70 y 1,000 km aproximadamente. Las zonas de máxima influencia sobre las ondas son las cercanas al suelo en la tropósfera y las que se encuentran a una altitud del orden de 400 km para la ionósfera. En la figura (Fig. 4-5) se aprecian la dirección aparente y la trayectoria real que sigue la señal.

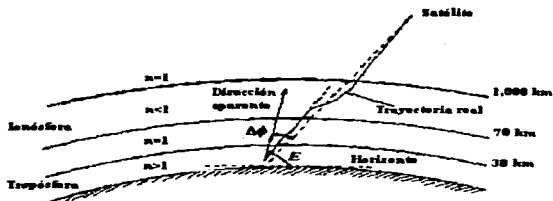


Figura 4-5

La atmósfera terrestre (tropósfera e ionósfera) se comporta como un filtro con dos bandas principales que pasan: una en el rango radioeléctrico (de 20 MHz a 20 GHz aproximadamente) y la otra en las regiones óptica e infrarroja. Para nuestro análisis se considera un satélite ubicado por encima de la ionósfera ya que éste es el caso de los satélites geostacionarios.

4.2.1 Atenuación de las ondas

Como resultado de una serie de estudios, se ha concluido que la atmósfera no es perfectamente transparente. Existe cierta atenuación debida principalmente, a las componentes gaseosas de la tropósfera, al agua en su forma líquida (lluvia y nubes) y a la ionósfera.

En la tropósfera, las componentes gaseosas que dan lugar a la absorción son el oxígeno y el vapor de agua. Por otra parte se encuentran las componentes líquidas que como ya se mencionó anteriormente son la lluvia, la niebla y las nubes. En el caso de las nubes y la niebla, las partículas de agua son extremadamente pequeñas en comparación con la longitud de las ondas hasta la frecuencia de 50 GHz; por lo tanto, la atenuación es debida a la absorción de la energía por parte de las pequeñas partículas. En los rangos de frecuencia empleados actualmente para las comunicaciones espaciales, esta atenuación es del orden de unas décimas de decibel (apéndice 1: El decibel o dB).

La influencia de la lluvia es bastante más compleja y en general es menos conocida debido a que se desconoce a ciencia cierta la estructura propia de las precipitaciones, tanto en extensión como en intensidad. Se sabe que por debajo de los 10 GHz la influencia de la lluvia es relativamente pequeña y que no es un elemento determinante en la calidad de los enlaces espaciales en 4 y 6 GHz (banda C).

Por el contrario, para las frecuencias superiores a 10 GHz la atenuación sufrida por las señales es considerable y deberá ser tomada en cuenta en el análisis de los enlaces. La atenuación por lluvia en un enlace satélite-tierra, considerando una frecuencia de 12 GHz, puede ser de varios decibeles dependiendo de ciertos factores, entre los cuales podemos mencionar las estadísticas de precipitación pluvial en la zona donde se ubica la estación terrena.

En la ionósfera existe una absorción debida a las colisiones entre los electrones y los átomos neutros. Esta absorción aumenta a medida que el ángulo de elevación disminuye como consecuencia del aumento en la trayectoria recorrida por la onda en la ionósfera. Para las frecuencias utilizadas en las telecomunicaciones vía satélite, la atenuación debida a este fenómeno es muy baja y sólo será importante por debajo de varios cientos de MHz.

Por otra parte existe la atenuación en el espacio libre, que no es más que el debilitamiento sufrido por las señales transmitidas, considerando que éstas viajan en el vacío perfecto. La atenuación crece conforme aumenta la frecuencia; sin embargo, esto no debe limitar la utilización de frecuencias más elevadas, ya que por otro lado, se cuenta con la ventaja de que para una antena con un área determinada su ganancia aumenta en relación directa con la frecuencia de las señales enviadas y recibidas.

4.2.2 Polarización y modificación del plano de polarización

La capacidad de transmisión y recepción de canales en un satélite está limitada por el ancho de banda disponible. Para poder usar un determinado ancho de banda al menos dos veces, se utilizan dos tipos de polarización: polarización lineal (horizontal y vertical) y polarización circular (derecha e izquierda).

A primera vista, ambos tipos de polarización son igualmente eficientes para aislar dos enlaces en la misma frecuencia uno del otro, pero si profundizamos encontramos que existen diferencias.

La polarización circular tiene la ventaja de que no requiere orientación, lo cual puede ser importante en sistemas sencillos pero, sufren más depolarización durante una lluvia fuerte. Contrariamente, la polarización lineal requiere orientación y de vez en cuando un reajuste según cambie el apuntamiento del satélite, sin embargo, se desempeña mejor bajo la lluvia.

Esta técnica para utilizar una misma frecuencia con dos transmisiones (o recepciones) distintas recibe el nombre de **reutilización de frecuencias con discriminación de polarización**. Existe otra técnica que es la **reutilización de frecuencias con aislamiento espacial** que se realiza con un subsistema de antenas que produzca muchos haces dirigidos hacia zonas geográficas diferentes; si algunos haces están lo suficientemente separados entre sí, entonces pueden utilizar las mismas frecuencias.

Pero, se sabe que una onda emitida con polarización (lineal o circular) no la conserva exactamente durante su trayecto de propagación a través de la atmósfera. Esto se debe a dos fenómenos: rotación del plano de polarización y depolarización de las ondas.

La ionósfera puede considerarse como un medio el cual se encuentra sometido a un campo magnético. Debido a esto, una onda con polarización rectilínea se descompone en sus dos componentes, las cuales no se propagan a una misma velocidad. Al salir de la ionósfera, las dos componentes vuelven a integrarse en una onda con polarización rectilínea, pero su plano de polarización ha girado con respecto a la onda incidente. Esta rotación puede alcanzar un gran número de vueltas en el caso de frecuencias relativamente bajas.

Se ha encontrado que la rotación del plano de polarización alcanza su valor máximo bajo las siguientes condiciones:

- a) Cuando la dirección de propagación es paralela al campo magnético terrestre.
- b) Durante el día, cuando ocurre la máxima ionización.
- c) Cuando se opera con pequeños ángulos de elevación.

Si consideramos que para frecuencias inferiores a 1 GHz se tienen valores elevados del ángulo de rotación, se explica por que en esa gama de frecuencia se utilizan, principalmente, antenas con polarización circular. A partir de los 2 y 3 GHz es posible emplear antenas con polarización rectilínea, ya que el ángulo de rotación en este caso es muy pequeño.

Por otro lado, en la atmósfera se produce una depolarización de las ondas debido a varios factores: por una parte, las gotas de lluvia crean una onda con polarización ortogonal, debido a que no son completamente esféricas, y este efecto existe tanto en los enlaces oblicuos entre un satélite y una estación terrena como en los enlaces horizontales (enlaces terrestres). Además, una segunda causa de depolarización que sólo se presenta en los enlaces oblicuos, es debida a la difracción de las ondas por los cristales de nieve que se encuentran a ciertas altitudes.

La depolarización por lluvia siempre está asociada con una atenuación importante, lo cual no sucede con la depolarización debida a los cristales de nieve.

4.2.3 Retardo y distorsión del tiempo de propagación

En los enlaces vía satélite, dónde éste se encuentra bastante alejado de la tierra, los tiempos de propagación de las señales alcanzan valores elevados, los cuales en ocasiones

son molestos en los enlaces bilaterales. Como ya se mencionó en el capítulo anterior, el tiempo que tarda una señal en ir y regresar a un satélite geoestacionario es del orden de 0.25 segundos y es necesario utilizar mecanismos especiales al cursar las comunicaciones para compensar estos retardos.

Cuando se emplea el acceso múltiple por división en el tiempo, se necesita además, conocer las variaciones en ese tiempo de propagación. Esas variaciones pueden generarse ya sea por la presencia de trayectos múltiples provocados por las irregularidades del índice de refracción del aire o por efecto de la lluvia.

4.2.4 El ruido

Para que una transmisión pudiera considerarse perfecta, haría falta que la señal recibida fuera idéntica a la señal transmitida, y que no mostrara ningún tipo de perturbación debida a otras señales parásitas. En la práctica, esta condición ideal no existe y es necesario evaluar la potencia de ruido adicional en el enlace, para compararla con la potencia de la señal portadora de información y obtener la relación portadora a ruido P/R (C/N por sus siglas en inglés), la cual será un indicador de la calidad del enlace.

La generación de ruido se inicia desde la misma fuente que proporciona las señales y, los equipos de telecomunicaciones por los cuales pasa la señal le agregan una cantidad adicional de ruido denominado ruido interno; mientras que al ruido captado por las antenas de la estación terrena se le conoce como ruido externo.

Una señal proporcionada por una fuente generadora siempre deberá ser amplificada para emplearla con ciertos niveles requeridos. Al efectuar esta amplificación, se encuentra que en todos los casos la relación señal a ruido S/R (S/N en inglés) a la salida del dispositivo amplificador, será siempre inferior a la registrada en su entrada.

La temperatura equivalente de ruido de un receptor es la temperatura a la cual debería estar un elemento generador de ruido (resistencia) conectado a la entrada de éste para que produjera una cantidad de ruido equivalente a la creada por el receptor.

En el siguiente cuadro pueden observarse algunos valores de temperatura de ruido y su correspondencia numérica para el factor de ruido, el cual se expresa en decibelios.

Técnicas de acceso y parámetros importantes en el diseño de una red de comunicación vía satélite

T_r (°K)	7	35	75	300	900	3,000	30,000
F (dB)	0.1	0.5	1	3	6	10	20

Dentro del equipo comercial, los receptores de las estaciones terrenas tienen temperaturas de ruido comprendidas entre 10 y 200 °K.

Para una antena de recepción en una estación terrena, las fuentes de ruido que deben tomarse en cuenta son varias y se describen a continuación. Todo cuerpo tiene la característica de radiar una cantidad de energía, la cual podrá ser captada por una antena y sobreponerse a las señales de comunicaciones bajo la forma de ruido de origen externo.

Es posible identificar en el cielo diferentes tipos de ruido que pueden ser captados por una antena. Si se considera el rango de frecuencias comprendido entre 1 y 10 GHz, para ángulos de elevación superiores a cinco grados, la temperatura de ruido del cielo es inferior a 20 °K. El sol también aporta una cantidad de ruido importante, sin embargo, en las telecomunicaciones mediante satélites geostacionarios es raro que se presente una conjunción entre el satélite y el sol.

También existe ruido debido a la radiación de la tierra. A pesar de que las antenas de estaciones terrenas se encuentran normalmente apuntadas hacia el cielo, el ruido que captan de la tierra debe ser considerado en las antenas que poseen pequeños valores de temperatura de ruido.

4.2.5 Parámetros característicos de una antena

En el capítulo anterior se mencionaron algunas características importantes de las antenas; ahora se tratará con más detalle algunos parámetros básicos en la operación de éstas. Una antena es un dispositivo mediante el cual es posible realizar el acoplamiento entre una línea de transmisión radioeléctrica y el espacio que la rodea. Generalmente, el acoplamiento es bidireccional; es decir, que el mismo dispositivo se emplea para radiar la potencia que se le proporciona y al mismo tiempo, capta la energía que le llega en forma de ondas electromagnéticas.

1) Ganancia de antena

Se conoce como antena isotrópica a una antena omnidireccional ideal, la cual radiaría la misma cantidad de potencia en todas las direcciones del espacio.

Se define como ganancia de una antena real en una dirección determinada la relación que existe entre la potencia radiada por dicha antena en esa dirección y la potencia que radiaría una antena isotrópica.

Por lo tanto, la ganancia de una antena depende de los siguientes factores:

- De su superficie real (del diámetro, si es circular).

- De su coeficiente de rendimiento, el cual, en la práctica, alcanza valores de entre 60 y 70%. Este factor se sujeta a limitaciones de tipo tecnológico en el momento de diseñar y construir la antena, como pueden ser la alineación de los paneles del reflector o las deformaciones que pudiera sufrir la estructura debido a fuerzas externas.

- De la frecuencia de las ondas radioeléctricas, ya que a medida que aumenta esta frecuencia su longitud de onda disminuirá y crecerá la ganancia.

2) Diagrama de antena y directividad

Considerando que una antena se encuentra orientada en la dirección de una fuente de radiación de energía, a medida que se provoca un desapuntamiento de dicha antena se producirá una disminución en la cantidad de potencia recibida. De igual forma, si la antena se utiliza para la emisión de señales, la intensidad disminuirá en la dirección de radiación máxima, al alejar la antena de esta dirección. Por lo tanto, las variaciones de ganancia pueden representarse en función del desapuntamiento sufrido por la antena.

Ganancia y directividad son dos parámetros que se encuentran estrechamente ligados, y entre más directiva sea una antena, mayor será su ganancia. En el diagrama de la antena del capítulo anterior (Fig.3-1) se observa que existe un lóbulo principal de alta ganancia, muy angosto, y lóbulos secundarios simétricos.

3) Polarización de una antena

La mayoría de las antenas crean campos cuyo comportamiento con respecto a la polarización de la onda no es constante en todos los puntos del espacio, y una misma antena puede generar un campo en el que la polarización sea rectilínea en una dirección y circular en otra.

Sin embargo, generalmente, dentro del haz de radiación de una antena se atribuye especial importancia a una región angosta del espacio, como por ejemplo, a la iluminada por el lóbulo principal. Entonces, se dice que la polarización proporcionada por la antena es aquella que impera dentro de esta región.

4) Temperatura de ruido de antena

Cuando la antena se utiliza para la recepción de señales, se trata de un parámetro importante y muy especialmente para las antenas instaladas cerca de la superficie terrestre y destinadas a captar señales provenientes del espacio exterior. En el caso particular de las antenas de estaciones terrenas, es uno de los parámetros esenciales.

La temperatura de ruido de una antena es un indicador de la potencia de ruido que dicha antena proporciona a la entrada del receptor al que está conectada. El ruido captado por la antena proviene, principalmente, del cielo y de la radiación propia de la tierra, como ya se mencionó anteriormente.

A fin de obtener pequeños valores de temperatura de antena, la directividad (ganancia) de la antena debe ser lo más baja posible en las direcciones donde la temperatura de ruido es elevada. Particularmente, una antena receptora de estación terrena deberá tener lóbulos laterales reducidos, a fin de no captar la radiación del sol cuando su lóbulo principal está apuntando hacia el cielo.

Por otra parte, el ruido emanado de la superficie terrestre es captado igualmente por los lóbulos laterales de la antena, de ahí el interés de evitar operar con pequeños ángulos de elevación. Un ángulo de cinco grados es el mínimo aceptable en una antena de estación terrena.

En un enlace satélite-tierra la potencia de la señal recibida es proporcional a la ganancia de la antena, y la potencia de ruido es proporcional a la temperatura de ruido en la entrada del receptor, la cual incluye, particularmente, el ruido captado por la antena. Por consiguiente, la antena interviene en la relación señal a ruido mediante el siguiente factor:

$$\frac{G}{T_A + T_R}$$

siendo G la ganancia de recepción de la antena, T_A su temperatura de ruido y T_R la temperatura de ruido del receptor. Esta relación es conocida como **factor de mérito** de la estación terrena y tiene gran importancia en las telecomunicaciones por satélite.

4.2.6 Potencia isotrópica radiada equivalente (PIRE)

La potencia isotrópica radiada equivalente de una antena en una dirección determinada, es la potencia que radiaría una antena isotrópica que tuviera la misma intensidad de radiación en esa dirección considerada.

Por consiguiente, si consideramos que una antena con una ganancia G deberá radiar en una sola dirección la misma potencia que una antena isotrópica, entonces el amplificador que alimenta a la antena producirá una potencia G veces inferior a la que debería suministrar a una antena isotrópica. Mediante la siguiente relación puede obtenerse la potencia radiada por la antena:

$$PIRE = P_A G_{TX}$$

dónde P_A es la potencia suministrada por el amplificador en las terminales del alimentador de antena y G_{TX} es la ganancia de transmisión de la antena a la frecuencia considerada.

*C
I
N
C
O*

5.1 Aspectos generales de planificación de una red de comunicación vía satélite

Al planificar una red de comunicación vía satélite, es de primordial importancia mantener un punto de vista panorámico, es decir, no debe considerársele como un sistema aislado de los demás ya existentes, sino más bien buscar la integración de todos ellos, tanto de comunicación como de informática, que es lo que hoy en día se le ha llamado C&C (Computers and Communications).

Existen diversos parámetros a tomar en cuenta en la planificación de un sistema de este tipo, a continuación se enlistan los considerados básicos:

- Factibilidad económica
- Servicios a proporcionar
- Previsiones de tráfico
- Capacidad del sistema
- Instalación del equipo
- Condiciones naturales
- Calidad del servicio
- Facilidades de mantenimiento
- Facilidades de personal

Se debe analizar si los requerimientos y las necesidades de la entidad que pretenda implementar una red de este tipo justifican el costo de ésta. Hay que reconocer que si bien la comunicación vía satélite es altamente rentable y se recupera fácilmente la inversión realizada, siempre y cuando se haga un uso óptimo del sistema, ésta no deja de ser fuerte al inicio.

Un sistema de comunicación vía satélite puede proporcionar servicios como de telefonía, facsímil, transmisión de datos, videoconferencia, etc.

Para el servicio de telefonía se pueden utilizar dos tipos básicos de circuitos: preasignados (asignación fija SCPC o MCPC), o bien asignación por demanda (DAMA), como se vio en el capítulo anterior. En toda configuración de red pueden combinarse en

la proporción deseada dependiendo de las necesidades y del costo, tanto del equipo como del uso del satélite.

Es particularmente importante la ventaja que ofrecen los circuitos con asignación por demanda (DAMA) en los casos en que se tienen varios enlaces con poca carga. Estos, se utilizan particularmente entre localidades que no tienen suficiente tráfico para justificar un enlace permanente directo.

Debido al tiempo de propagación de un enlace satelital, el tiempo que tarda la señal en subir y bajar del satélite, no es recomendable utilizar una comunicación con doble salto salvo en situaciones excepcionales ya que el retraso sería muy grande; por ejemplo, para establecer una comunicación de Tijuana a Cancún, no se debe hacer que la señal suba al satélite en Tijuana y baje en México D.F. para luego volver a subir y bajar finalmente en Cancún.

Topología de la red tipo estrella

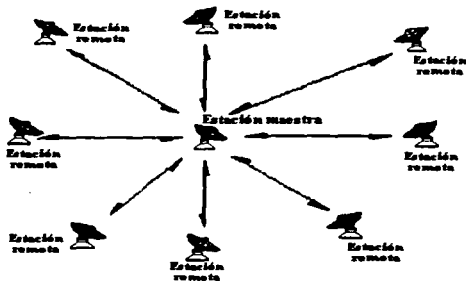


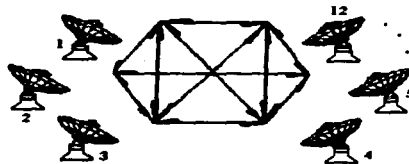
Figura 5-1

Sin embargo, existen circunstancias especiales en las que si no se dispone de otro medio de comunicación aceptable o se trata de restablecer circuitos durante una avería puede ser útil y tolerable un enlace por doble salto.

Al trazar técnicamente los planes para conducción de señales telefónicas, debe tomarse en cuenta que los mismos pueden utilizarse no sólo para conducir voz, sino también como portadores de señales de datos (facsimil).

En cuanto a la transmisión de datos, ésta se puede hacer a diferentes velocidades dependiendo de las necesidades de servicio de la red y del equipo que se conectará a ésta. Al igual que para la comunicación de voz se pueden tener canales fijos (dedicados) y canales que transmitan por paquetes (TDMA).

Por otro lado, es necesario establecer un plan de transmisión del tráfico sobre la base de estudios de intereses comunes entre diferentes localidades, o del desarrollo histórico del tráfico. Ese plan fijará los centros con mayor carga y determinará la forma en que se deberá transmitir la información y la necesidad de una red tipo **estrella** (Fig.5-1), con la información concentrada en un nodo principal y los restantes comunicándose con éste, o una tipo **mall** (Fig.5-2) en la que todos los nodos se comunican entre sí. A éste último aspecto mencionado sobre si la red es tipo estrella o mall se le denomina **topología de la red**.



Topología de la red
tipo Malla

Figura 5-2

Para predecir el tráfico se puede utilizar exclusivamente el análisis de observaciones del pasado sobre el valor que haya que predecir, es decir, buscar en los datos pasados "patrones" que se puedan extrapolar hacia el futuro. Esta forma de predicción tiene como base el supuesto de que el patrón de crecimiento y variación que se ha observado en el

pasado habrá de repetirse de nuevo. Una vez calculado el tráfico presente y futuro se debe buscar el equipo apropiado que satisfaga las necesidades requeridas para el buen funcionamiento de la red.

Antes de llegar a la fase de instalación, generalmente durante la adquisición del sistema, se diseña un programa de entregas por parte del proveedor y un programa de instalación del equipo, ya sea que la instalación se realice "llave en mano", en la que éste se encarga de todo y entrega el sistema en completo funcionamiento al usuario o bien, que se utilice una asesoría en la que el proveedor únicamente supervise los trabajos por parte del usuario, que deberá haber sido capacitado previamente, y se haga un protocolo de aceptación por ambas partes al finalizar.

Al efectuar los estudios de ubicación de las estaciones terrenas, es importante tomar en cuenta las condiciones naturales del lugar y contar para ello con información especializada. Una estación terrena debe fíncarse en lugares estables, para evitar erogaciones excesivas en su cimentación. En cuanto al clima, deben tenerse en cuenta agentes atmosféricos, como la lluvia, el viento, la nieve, el polvo y la humedad. Lluvias intensas provocan atenuaciones, en mayor o menor grado, sobre las bandas de transmisión asignadas al satélite. La lluvia afecta bastante a la banda "Ku" (12-14 GHz).

En zonas ciclónicas o con fuertes vientos, los soportes de las antenas deben tener la suficiente resistencia. Agentes como el polvo, la humedad y las temperaturas ambientales, dependiendo del nivel en que se produzcan, pueden motivar la instalación de dispositivos y materiales para proteger el buen funcionamiento de partes y equipos instalados en las estaciones.

Por otra parte, para que los servicios de comunicaciones se consideren buenos, deben tener un alto grado de disponibilidad, es decir, deben sufrir pocas interrupciones, y cuando se lleguen a producir, ser de corta duración. Para lograrlo, es necesario tomar en cuenta los siguientes factores: confiabilidad de equipos, mantener capacidad de reserva, redundancia de equipos, módulos y componentes de refacción, así como supervisión y técnicas de mantenimiento.

Definitivamente, la calidad de los servicios ofrecidos mantiene una relación directa con la economía del sistema, pues para obtener una mayor calidad es necesario contar con equipos que aseguren un alto grado de confiabilidad.

El usuario propietario del sistema deberá mantener presente esa repercusión económica, al momento de tomar cualquier decisión sobre requerimientos de confiabilidad, analizando si la inversión es justificable, ya sea parcial o totalmente. Además, si un servicio no alcanza los niveles de calidad de transmisión internacionales, no será posible su conexión futura con otro sistema.

Se debe contar con el personal suficiente y calificado para la supervisión, operación y mantenimiento del sistema, con el fin de economizar gastos en futuras reparaciones o mal servicio de la red. Para la selección del personal es necesaria una persona familiar a este campo que pueda evaluar a los candidatos o en su defecto se puede pedir la asesoría del propio proveedor del equipo, que se encuentra más familiarizado con esta tarea.

5.2 Dimensionamiento de los canales de la red

Uno de los aspectos más importantes en la práctica de la Ingeniería de Telecomunicaciones es la determinación del número de canales que se requiere en la conexión entre dos nodos, lo que se conoce como **dimensionamiento** de la ruta.

Para estar en posibilidad de dimensionar correctamente una ruta se deberá tener la idea de su posible utilización, es decir, el número de llamadas que intentarán establecerse al mismo tiempo sobre dicha ruta.

Dicha utilización se puede definir mediante dos parámetros: 1) razón de llamadas, que es el número de veces que se utiliza una trayectoria de tráfico por unidad de tiempo y 2) tiempo de retención, que es la duración de la ocupación de la trayectoria de tráfico por llamada. La trayectoria de tráfico es: un canal, una línea, una troncal o un circuito a través del que se establecen comunicaciones individuales secuencialmente.

El **tráfico cursado** es el volumen de información que realmente fue cursado a través del sistema y el **tráfico ofrecido** es el que se intentó cursar por el sistema pero que por una u otra razón no se completó.

Para dimensionar una trayectoria, se debe conocer la intensidad de tráfico representativa de la temporada normal de ocupación. Existen variaciones semanales y diarias dentro de dicha temporada; el tráfico es de naturaleza aleatoria, sin embargo se puede observar

cierta consistencia ya que, generalmente, hay más los lunes y los viernes que los demás días de la semana. También se puede encontrar semejanza en la variación por horas durante el día normal de trabajo. Observando la variación de un día típico se nota que cierto período de una hora es el que muestra la mayor lectura, como se puede apreciar en la gráfica siguiente (Fig.5-3) entre las 10 y las 11 de la mañana. Se pueden presentar picos de tráfico impredecibles provocados por actividades como el clima, desastres naturales, eventos especiales, etc.

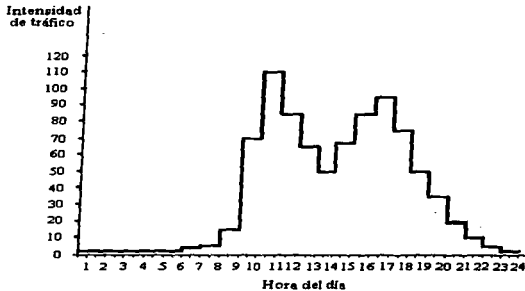


Figura 5-3

Cuando se dimensionan rutas de transmisión, se trabaja con niveles de tráfico en hora pico.

5.2.1 Medición del tráfico

Si el tráfico se define como la acumulación de llamadas en un grupo de circuitos considerando tanto su duración como su cantidad, se puede decir que el flujo de tráfico Λ es igual:

$$\Lambda = C \times T$$

dónde C es la cantidad de llamadas por hora y T es la duración promedio por llamada. De esta fórmula, la unidad de tráfico será llamadas-minuto o llamadas-hora.

Supóngase que el tiempo promedio de retención fuera 3.5 minutos y que la cantidad de llamadas en la hora pico (HP) para un día promedio fuera 470. El flujo de tráfico sería entonces 470×3.5 igual a 1,645 llamadas-minuto (L.L. m), o bien $1,645/60$, es decir, 27.41 llamadas-hora (LL h).

La unidad de tráfico de uso común es el **erlang**, nombre dado en honor del matemático danés, A. K. Erlang. El erlang es una unidad sin dimensiones. Un erlang de intensidad de tráfico sobre un circuito significa la ocupación continua de tal circuito. Considerando un grupo de circuitos, la intensidad de tráfico en erlangs es el número de llamadas segundo por segundo o el número de llamadas hora por hora. Si un grupo de 10 circuitos tiene la intensidad de 5 erlangs, se tendría que encontrar la mitad de los circuitos ocupados en el momento de la observación.

Otras unidades de tráfico sí tienen dimensiones. Por ejemplo: **llamada-hora** (LL h); 1 LLh es la cantidad que representan una o más llamadas que tienen la duración agregada o acumulada de 1 hora; **llamadas-segundo** (LLs); 1 LLs es la cantidad que representan una o más llamadas que tienen la duración agregada de 1 segundo; **CLLS** es la cantidad que representa un agregado de 100 LLs de tráfico. Las unidades anteriores equivalen entre sí como se indica:

$$1 \text{ erlang} = 36 \text{ clls} = 60 \text{ L.L.m} = 1 \text{ LLh}$$

suponiendo una hora como intervalo de unidad de tiempo.

5.2.2 Fórmula de tráfico de Erlang

Cuando se dimensiona un sistema, lo que se requiere es determinar el número de circuitos del sistema. Para este fin, la fórmula que más se utiliza en la actualidad es la fórmula **B de llamadas perdidas** de Erlang. Llamadas perdidas significa la probabilidad de bloqueo en el sistema debido a congestión o al estado de "todas las troncales ocupadas". Esto se expresa como grado de servicio E_B o probabilidad de encontrar x canales ocupados. Los otros dos factores en la fórmula B de Erlang son el tráfico ofrecido y el número disponible de troncales o canales en servicio.

Las suposiciones adoptadas en esta fórmula son:

- El tráfico se origina de un número infinito de fuentes.
- Las llamadas perdidas desaparecen del sistema considerando su duración igual a cero.
- El número de troncales es limitado.
- Existe accesibilidad completa (cada entrada al sistema tiene acceso a cualquier salida).

Es conveniente que cuando se está tratando con el grado de servicio, se aprenda a distinguir entre **congestión de tiempo** y **congestión de llamada**. Congestión de tiempo se refiere a la parte de la hora durante la cual todas las troncales están ocupadas simultáneamente. Congestión de llamada se refiere al número de llamadas que no tienen éxito al primer intento, es decir, las llamadas perdidas.

Hay que tener en cuenta que la fórmula B de Erlang maneja el tráfico ofrecido, cuya diferencia con el tráfico cursado es el número de llamadas perdidas.

La tabla que se encuentra en el apéndice 2, se basa en la fórmula B de Erlang y proporciona información para el dimensionamiento de troncales con diferentes grados de servicio desde 0.001 a 0.05 y desde 1 a 150 troncales. Esta tabla utiliza unidades UC y TU para intensidad de tráfico, donde TU está en erlangs y UC en CLLS.

El grado de servicio típico es 0.01. Esto significa que, en promedio, durante la hora pico se pierde una de cada cien llamadas. Para ejemplificar el uso de la tabla del apéndice 2, supóngase que, si un enlace cursa el tráfico de 11.52 erlangs con el grado de servicio deseado de 0.001, se requerirán 23 troncales o canales. Si el grado de servicio se reduce a 0.05, las 23 troncales podrían cursar el tráfico de 18.08 erlangs.

Al dimensionar un sistema, a menudo el resultado es un número fraccionario de canales de servicio o troncales. En este caso, se optará por el siguiente entero más alto, ya que no se podrá instalar una fracción de canal. Por ejemplo, si de los cálculos resulta que el sistema deberá tener 31.4 canales, éste se diseñará con 32 canales.

El grado de servicio constituye una medida de la calidad del servicio, cuyo valor típico, que se considera un valor bastante aceptable, ya se mencionó anteriormente. La calidad de servicio parece ser un concepto intangible; sin embargo, resulta muy real para el

usuario de la red insatisfecho con el servicio. En el campo de las telecomunicaciones se le llama a la calidad de servicio "satisfacción del usuario" y este concepto nunca se deberá perder de vista puesto que de él depende en principio la aceptación de una nueva red de comunicación y posteriormente la rentabilidad de operación del sistema.

5.3 El enlace de transmisión

En la sección 4.2 del capítulo anterior se revisaron algunos parámetros importantes dentro del diseño de una red de comunicación vía satélite y por lo tanto, del enlace de transmisión, que es parte fundamental de ésta.

Para determinar la calidad de un canal de transmisión, es necesario realizar un cálculo de enlace y estudiar las posibles técnicas para minimizar los problemas que afectan a la transmisión de la señal, tanto en el enlace ascendente (estación terrena-satélite), como en el descendente (satélite-estación terrena).

Con la pérdida en el espacio libre del orden de 196 dB en la banda de 4 GHz (de satélite a estación terrena) y de cerca de 207 dB para la banda de 12 GHz, se vuelve complicado el cálculo de tales enlaces.

Supóngase que la potencia de salida del transpondedor de un satélite es de +6 dBW (apéndice 1: El decibel o dB), la pérdida a la antena de 1 dB y la ganancia de 25 dB, entonces la PIRE es de +30 dBW. Con la pérdida de trayectoria de 196 dB se tiene la señal (+30 dBW - 196 dB) de -166 dBW que incide en la antena receptora.

Es necesario que durante la etapa de diseño del sistema se consideren ciertos márgenes, tomando en cuenta que los parámetros reales de los equipos pueden alejarse un poco de sus características teóricas y, en segundo lugar, para prevenir alguna degradación de la señal o aumento del ruido (perturbaciones debidas a los enlaces terrestres, a la transmisión de un canal adyacente, etc.).

La relación señal a ruido (S/N) tiene una importancia fundamental en el desempeño del sistema por lo que es necesario mantenerla dentro de márgenes razonables. Casos en los que la potencia de la señal y los niveles de ruido o de influencias climáticas son relativamente estables o predecibles están considerados dentro de los programas de

cálculo de enlaces y las especificaciones de los equipos. Sin embargo, para estaciones terrenas que se planea instalar en lugares cerca del límite de cobertura del satélite o en algún lugar con altas precipitaciones, el diseño debe considerar una estación terrena con una antena de diámetro más grande al considerado para una localidad de características más favorables.

5.3.1 El cálculo de enlace

Para cualquier sistema, el cálculo y la suma de las diversas ganancias y pérdidas presentes en él, se le conoce como el cálculo de enlace de dicho sistema. Este, le da información al diseñador de la red sobre lo que le pasa a la señal y con que potencia se recibe ésta en la estación receptora, bajo una serie de suposiciones.

En la figura (Fig.5-4), se aprecia como se van sumando y restando las diferentes ganancias y pérdidas. En ella no se encuentran contempladas todas las fuentes que provocan pérdidas en la señal; como se puede observar, todas las cantidades se encuentran en decibeles y por lo tanto se pueden sumar o restar entre ellas.

A continuación se da un ejemplo mas completo de un cálculo de enlace con sus diferentes parámetros utilizando datos de un enlace tipo:

POTENCIA DE TRANSMISION, DBw	25
PERDIDA DEL SISTEMA DE TRANSMISION, dB	-1
GANANCIA DE LA ANTENA TRANSMISORA, dB	46
PERDIDA ATMOSFERICA, dB	-0.5
PERDIDA EN EL ESPACIO LIBRE, dB	-208
GANANCIA DE LA ANTENA RECEPTORA, dB	46
PERDIDA DEL SISTEMA RECEPTOR, dB	-1
POTENCIA DE RECEPCION, DBw	-93.5
TEMPERATURA DE RUIDO, °K	180
RELACION SEÑAL A RUIDO RECIBIDA, dB	34.5
PERDIDA EN UNA TORMENTA, dB	-10
RELACION SEÑAL A RUIDO RECIBIDA EN UNA TORMENTA, dB	24.5

Notas:

Banda del enlace: 14/12 GHz

Diámetro de antena en el satélite: 1.8 m

Diámetro de antena en estación terrena: 1.8 m.

Receptor de estación terrena de bajo costo.

dB: decibel

DBw: Decibelios/Watt

(Apéndice 1)

El diseñador del sistema realiza varias veces estos cálculos de enlace usando diferentes configuraciones y diferentes suposiciones sobre las condiciones de operación.

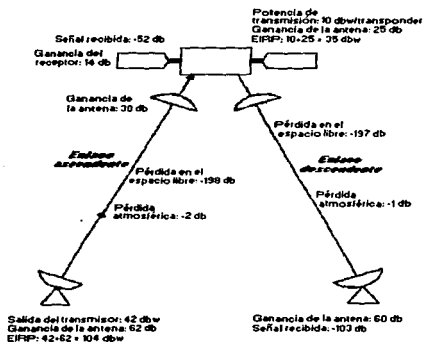


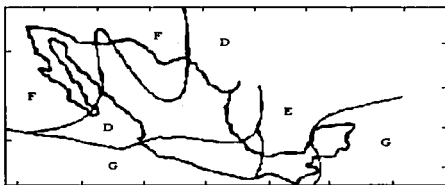
Figura 5-4

En este ejemplo, nos hemos enfocado en la potencia con que la señal llega a su destino y las pérdidas que sufre, pero existen otros cálculos que también son representativos del desempeño de la estación, como lo es el factor de mérito de la estación terrena.

Se introdujo el **factor de mérito**, G/T de una estación terrena en la tecnología para describir la capacidad de la estación para recibir la señal desde el satélite. G de la

expresión es la ganancia de la antena a la frecuencia de recepción y T la temperatura efectiva de ruido en el sistema de recepción; por lo tanto, sus unidades son dB/°K.

Generalmente, en el diseño del sistema se considera un margen para la estación con el fin de evitar que el ruido exceda los límites previstos o que el desvanecimiento que sufre la señal a su paso por la atmósfera, generalmente debido a la lluvia, no afecte la transmisión. Concretamente, en el caso de una estación instalada en un lugar con fuertes precipitaciones y que utiliza la banda Ku, se debe considerar un **margen por lluvia M_L** , manejado en dB. Este, depende de tres factores: el régimen pluvial en la localidad donde se encuentra instalada la estación terrena, el ángulo de elevación de la antena sobre el horizonte para apuntar al satélite y el porcentaje de disponibilidad por lluvia del sistema. Al incrementarse la elevación de la antena al zenith la atenuación por lluvia decrece notablemente porque la señal pasa a través de menos atmósfera. A continuación se encuentra una gráfica (Fig.5-5) con las cuatro regiones pluviales de México y en el apéndice 3 una tabla que muestra los valores típicos de M_L en dB para cada una de estas regiones.



Regiones pluviales de México

Figura 5-5

5.3.2 Medición de errores en la transmisión de datos (BER)

BER (Bit Error Rate) se define como el número de bits transmitidos, que fueron recibidos con errores en proporción con el número total de bits transmitidos y se expresa de la siguiente forma: N en 1×10^x (N bits erróneos en 1×10^x bits totales transmitidos).

Las recomendaciones existentes especifican dos alternativas para medir el número de errores:

- El promedio BER sobre un período de tiempo predeterminado.
- La parte proporcional de intervalos de tiempo establecidos que están libres de errores o que la tasa de errores no sobrepasa un límite de BER especificado.

Debido a que la tasa de bits erróneos se encuentra en función de las condiciones climáticas existentes durante el recorrido de la señal, ésta es variable e impredecible, y puede llegar a ser mucho más alta de 1 en 10^6 durante tormentas de lluvia o ciclo muy nublado.

Dentro de los estándares norteamericanos, una tasa de bits erróneos BER igual o por debajo de 1 en 10^6 es aceptable. Sin embargo, mediante el empleo de técnicas como Forward Error Correction (FEC) en el equipo de las estaciones terrenas, para la detección y corrección de los errores, la tasa de bits puede llegar tan bajo como 1 en 10^{-10} .

Existen equipos con diferentes niveles de detección y corrección de los errores (FEC) y se identifican de la siguiente forma: 3/4, 7/8, 1/2. Comercialmente se utiliza FEC de 1/2 y existen ocasiones en las que sólo se utiliza en situaciones adversas (tormentas, etc.), pero su uso también depende de la relación señal a ruido que se tenga en el enlace: puede ser que por las condiciones del satélite, el enlace se encuentre en los límites aceptables por lo que el uso de FEC será necesario permanentemente.

5.3.3 Desempeño general del sistema

Los puntos de criterio técnico más importantes para evaluar el desempeño de un sistema de comunicaciones vía satélite son:

- La capacidad de transmisión en términos de velocidad y cantidad total de información transmitida.
- Eficiencia con la que se utiliza la capacidad del sistema.
- Tasa de información errónea, medida por la relación entre los errores recibidos y la información total transmitida.
- Rentabilidad, medido por la frecuencia con que el sistema es utilizado y el tiempo que permanece sin operar.

En un sistema de comunicación vía satélite, los principales componentes y características que determinan su desempeño son:

Características del satélite:

- Frecuencia de operación del satélite
- Potencia y ancho de banda del transponder
- Antena
- Sensibilidad del receptor

Propiedades del enlace de transmisión:

- Pérdidas en la señal
- Intensidad de ruido
- Relación señal a ruido

Factores ambientales y geográficos:

- Extensión de la huella de cobertura del satélite
- Condiciones atmosféricas y climáticas, predecibles y no predecibles
- Interferencia por microondas terrestres

Características de la estación terrena:

- Antena (tamaño y diseño)
- Sensibilidad del receptor
- Localización geográfica y ángulo de elevación en relación al satélite

Características de acceso al enlace:

- Características de desempeño de los circuitos terrestres de acceso a la estación terrena
- Técnicas de acceso múltiple (TDMA, FDMA)

Algunos de los factores mencionados en la anterior lista están interrelacionados. Por ejemplo: si se emplea una frecuencia de transmisión más alta, se pueden tener antenas de menor diámetro, pero también las altas frecuencias son más sensibles a las pérdidas en la potencia de la señal. Por otro lado, las antenas grandes son más sensibles que las antenas pequeñas y por lo tanto la estación terrena es capaz de recibir señales más débiles a bajas frecuencias, pero las antenas grandes cuestan más y es más difícil su instalación en zonas ya urbanizadas.

Todas estas interdependencias crean una amplia gama de combinaciones para el desarrollo de sistemas de comunicación vía satélite y una parte importante del diseño de estos sistemas es jugar y manipular con todas estas variables hasta lograr llegar lo más cercano posible a lo óptimo para cada caso y cada aplicación.

5.4 Aspectos de la instalación de una estación terrena

5.4.1 Selección del sitio para una estación terrena y efectos del clima

La ubicación apropiada de las estaciones terrenas en un sistema de telecomunicaciones por satélite depende de varias consideraciones. Si bien no se ha adoptado un conjunto rígido de normas para elegir el sitio donde quedará finalmente establecida una estación terrena, conviene que en la selección del lugar se consideren algunos de los siguientes criterios, que se han obtenido como resultado de la experiencia en la ubicación de estaciones tanto para servicios internacionales como para sistemas nacionales:

- Se deberán evaluar las interferencias potenciales que existen en el sitio contemplado para una estación terrena y que provengan de otras instalaciones emisoras de señales.
- Es conveniente tratar que el terreno circundante pueda asegurar un efecto de pantalla, que proteja a la estación contra las interferencias originadas por otros sistemas de microondas.
- El sitio contemplado deberá ser económicamente adaptable a la instalación y se tomarán en cuenta las condiciones meteorológicas locales; pues hay que recordar que la escarcha o fuertes ráfagas de viento en las antenas, pueden tener graves consecuencias en el funcionamiento del sistema, lo mismo que las tormentas de arena.
- De ser posible y deseable, se buscará la proximidad de una ciudad o al menos la cercanía del centro de comunicación al cual se enlazará la estación.
- Deberá existir de ser posible, una infraestructura básica, como acceso al lugar (carreteras, caminos, etc.), agua y energía eléctrica.

El costo de las arterias terrenales para el enlace de la estación terrena con el centro principal de comunicaciones puede representar una parte importante del costo total de la estación si no se reduce la distancia al mínimo.

El sitio elegido para la estación debe ser un terreno geológicamente firme y estable que garantice la solidez de los cimientos. Si hubiere peligro de erosión, deberá tenerse en cuenta este factor al hacer las obras y se tomarán las medidas apropiadas para reducirla al mínimo.

Si la instalación se lleva a cabo en un lugar alejado de cualquier ciudad, habrá que examinar desde el doble punto de vista de la instalación y la posterior operación, si existen carreteras y medios de transporte, abastecimiento de agua y de energía eléctrica, servicios telefónicos y servicios postales. Si no se dispone de abastecimiento seguro de energía eléctrica, habrá que tomar medidas para generar la necesaria.

El primer paso para elegir una ubicación es un estudio cartográfico preliminar en los que se examinarán los sitios potenciales para ubicar la o las estaciones terrenas; se identificarán también todos los sistemas de microondas que se estime, pudieran funcionar en las mismas bandas de frecuencia que el sistema de telecomunicaciones por satélite. Después de localizar los sitios posibles, se conseguirán mapas topográficos de las áreas de interés y se procederá a realizar un examen preliminar de las posibles interferencias físicas que puedan existir. El espacio situado sobre el horizonte local debe estar también lo suficientemente despejado para asegurar la visibilidad de todos los satélites o por lo menos del de interés con un margen razonable ($1/ - 3''$). Se seleccionará entonces el mejor sitio aparente para ubicar la estación.

Existen, en general, dos posibilidades de interferencia; la que pueden causar otros servicios o sistemas de telecomunicación a la estación terrena, y la que la estación terrena puede causar a otros servicios o sistemas. Deben considerarse por lo tanto ambos casos. En primer lugar debe intentarse reducir al mínimo las posibilidades de interferencia buscando de preferencia, terrenos o lugares que formen concavidades o depresiones naturales para instalar la estación terrena, aprovechando el efecto de pantalla que proporcionan.

En cuanto a los efectos del clima, éste afecta a casi todos los elementos que intervienen en una estación terrena, desde los caminos hasta los circuitos electrónicos. Además de los

efectos puramente mecánicos, hay que tener en cuenta los efectos "electrónicos" tales como el rendimiento.

La humedad está inseparablemente ligada a la temperatura. Una elevada humedad relativa resulta perjudicial pues favorece el crecimiento de hongos. Pero se transforma en una amenaza especial combinada con el ciclo de temperatura pues cuando un equipo "respira", es decir, cuando el recinto que lo contiene se llena de aire caliente y húmedo, al enfriarse se alcanza el punto de rocío depositándose humedad en su interior: este ciclo se repite y consecuentemente el agua acumulada aumenta.

Al examinar el problema de la precipitación hay que recordar que puede revestir la forma de lluvia, granizo, nieve y hasta cierto punto niebla. Requiere especial atención el caso de una lluvia acompañada de fuerte viento. El viento, puede causar problemas desde el punto de vista mecánico, sobre todo a los reflectores de las antenas.

La electricidad atmosférica no reviste gran importancia dado que la mayoría de las estructuras están correctamente conectadas a tierra. Por otra parte, la temperatura puede constituir una dificultad seria en lugares donde se tenga un calentamiento excesivo, ya que esto puede afectar al equipo electrónico y además causar una expansión que provoca la distorsión de las estructuras mecánicas especialmente en el reflector de la antena.

Las tormentas de polvo y arena producen problemas al alojarse estos dos elementos en todos los mecanismos, por lo que se deben mantener libres de éstos. En localidades costeras se deberá poner especial atención a la corrosión provocada por lluvias, calor, humedad y por supuesto la atmósfera salina.

En cuanto a los efectos que producen las condiciones meteorológicas a los equipos electrónicos provocando repercusiones en su rendimiento, se encuentran cambios en la refracción, atenuación y reflexión.

5.4.2 Estudio sobre el terreno (Site Survey)

Se efectúa este estudio para verificar los resultados del estudio de mapas y obtener información más amplia. Se visita cada ubicación seleccionada para observar el estado de las carreteras, pues recuérdese que en el estudio de mapas, debieron tomarse en cuenta las

facilidades de transporte y de acceso por carretera desde los puertos y/o aeropuertos hasta las ubicaciones consideradas, dada la necesidad de transportar equipo pesado durante la fase de construcción. De no haber posibilidad de acceso ya disponible, habrá que considerar el costo de la construcción de caminos o vías de tránsito.

Se deberá también verificar en el sitio si se dispone de energía eléctrica y evaluar la confiabilidad de este servicio; de no existir una fuente segura de energía, sería necesario servirse permanente o temporalmente de generadores. Se levantará un perfil del horizonte geográfico local (con inclusión de la distancia hasta cualquier accidente geográfico natural) y se determinará así, para cada dirección de interés, el factor de pantalla exacto del terreno. Normalmente, pueden despreciarse las perturbaciones causadas por las líneas de energía en las estaciones terrenas de telecomunicaciones por satélite.

La antena de una estación terrena es una estructura pesada que ha de poder orientarse con precisión según coordenadas predeterminadas. Debe instalarse por lo tanto sobre un suelo que admita grandes pesos y no ceda prácticamente. Si el suelo es blando, habrá que reforzarlo con pilotes y si es necesario, fijar la antena con grandes bloques de concreto para obtener una plataforma estable, lo cual representa costos adicionales de construcción. Para los estudios sobre el acceso, tipo de terreno, posibilidad de que se produzcan socavones, etc., los servicios de un ingeniero civil serían útiles.

De preverse varias antenas en una misma ubicación, habrá que disponer de suficiente terreno para que éstas no se estorben mutuamente. Si las antenas han de poder trabajar con cualquier sistema por satélite, no debe haber ningún obstáculo en el horizonte por encima de un ángulo de elevación de más de tres grados aproximadamente, con el fin de permitir la explotación de satélites que pudieran estar localizados a un ángulo de elevación de cinco grados. De lo contrario, si la antena se va a utilizar con un satélite específico bastará con simular con la ayuda de un inclinómetro el ángulo de elevación requerido para ese satélite en esa ubicación, ya que dicho ángulo varía de una localidad a otra, y verificar que no exista ningún obstáculo en la línea de vista hacia el satélite con un margen de más menos tres grados.

Otro factor que en la medida de lo posible debe preverse, es estudiar los antecedentes sismológicos de la zona considerada a fin de determinar la intensidad de los temblores o terremotos que ha de poder soportar la antena. En el apéndice 4 se encuentra un formato tipo, para la inspección de sitios; es conveniente utilizar un documento de este tipo con el

fin de llevar un control adecuado de cada visita e integrar un expediente con toda la información de la futura estación.

5.4.3 Obra civil

Se deben considerar siempre, en la selección del área que ocupará la estación terrena, las distancias que habrá entre la estructura de la antena, el edificio o la sala de control, y el sitio en donde se encontrará la fuente primaria (y secundaria si se ha contemplado) de energía eléctrica que alimentará los sistemas y equipos eléctricos y electrónicos.

Si bien es cierto que las estaciones terrenas que se utilizan para proporcionar servicios en redes domésticas no requieren de un gran edificio para el control y la administración de sus funciones, como lo requerirían tal vez estaciones del tipo Intelsat o las que realizan funciones de control de satélites, es importante de cualquier modo, prever siempre en el diseño de una estación terrena aunque sea un pequeño cuarto donde pueda permanecer el personal que se encargará de controlar y administrar los equipos que conforman la estación. En el apéndice 5 se encuentra un documento que describe los requerimientos principales para la adecuación del sitio de instalación.

En dado caso que la estación terrena vaya a realizar funciones de importancia y que por tanto requiera de mayor personal, será necesario contemplar una construcción más grande para albergar a los operarios que se encargarán de desempeñar esas tareas de administración. El cuarto o el edificio que se construya, deberá estar orientado de tal manera que permita una visión completa de la antena o las antenas de interés.

Deberá estar colocado en forma adyacente, o bien contener las áreas para mantenimiento, prueba, y almacén de equipos y partes de repuesto. De preferencia puertas de doble abatimiento deberán ser previstas para un movimiento fácil de equipos y aparatos de prueba. Los techos deberán tener la altura mínima de tres metros para el fácil desplazamiento e instalación de bastidores y equipos grandes.

Las paredes deberán llevar ocultas las tuberías de la energía, calefacción, ventilación y aire acondicionado; la iluminación debe ser suficiente. Las interconexiones entre cables de energía eléctrica y señales, así como la alimentación principal puede ser hecha a través de ductos sobre el techo o bien en sistemas bajo el piso.

En lugares con climas templados y tropicales se requiere el aire acondicionado para el cuarto de control. En el diseño de una estación terrena, deberá tomarse en cuenta el calor que se generará tanto por los equipos como por el personal que en determinado momento estará laborando en dicho cuarto. El diseño del medio ambiente en las áreas de interés deberá ser lo más preciso posible con el fin de lograr el óptimo rendimiento de equipos y del personal que ahí labore.

Un aspecto importante son las tierras eléctricas, que son proporcionadas para garantizar mayor seguridad al personal y a los equipos, la estabilidad de los sistemas electrónicos y de fuentes de energía, y la protección contra relámpagos. Todos los sistemas y dispositivos metálicos que alberguen equipos eléctricos, electrónicos o cableados deberán aterrizzarse debidamente.

Bajo ninguna circunstancia el conductor de tierra de los equipos deberá ser conectado al sistema neutral en forma tal que éste permita el paso de corriente de carga. El sistema neutral deberá aterrizzarse a la subestación de energía. La tierra contra rayos debe ubicarse a una distancia prudente (dos metros mínimo) de la tierra de la estación.

5.4.4 Orientación de la antena en elevación y azimut

La orientación de la antena de una estación terrena hacia un satélite geostacionario se realiza ajustando dos ángulos, el de elevación y el de azimut, siempre y cuando la antena sea de montaje elevación-azimut que son la gran mayoría de las antenas comerciales actualmente.

Los valores de estos ángulos dependen de la posición geográfica de la estación (en latitud y longitud) y de la ubicación del satélite. Tomando como referencia al eje de simetría del reflector de la antena, que coincide con su eje de máxima radiación, el ángulo de elevación es el que se forma entre el piso y dicho eje de simetría (Fig.5-6) dirigido hacia el satélite; por su parte, el ángulo de azimut es la cantidad en grados que hay que girar la antena en el sentido de las manecillas del reloj, con relación al norte geográfico de la tierra. En la figura (Fig.5-7) se observa lo anterior; como ejemplo, se muestran tres orientaciones distintas del plato parabólico y las flechas indican la dirección de máxima radiación para cada caso.

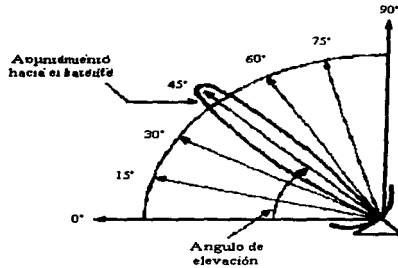


Figura 5-6

Cuando se requiere cambiar la orientación de la antena de un satélite a otro, es necesario variar, mediante algún mecanismo ya sea eléctrico o manual, sus ángulos de elevación y azimut; además, aunque se mantenga siempre en comunicación con el mismo satélite y dependiendo de la aplicación de la estación terrena, también es necesario efectuar correcciones pequeñas en ambos ángulos, pues ningún satélite geoestacionario es realmente fijo, sino que tiende a salirse poco a poco de su posición orbital; además, algunas condiciones ambientales ocasionales, como la lluvia y el viento, y el mismo peso de la antena pueden modificar su orientación, por lo que será necesario realizar pequeñas correcciones de los ángulos de elevación y azimut para garantizar un adecuado funcionamiento del sistema.

Por otra parte, las estaciones destinadas a servicios móviles, como en un barco, camión, etc., cambian constantemente de posición y dirección, por lo que necesitan ser orientadas constantemente en elevación y azimuth mediante sistemas automáticos de rastreo.

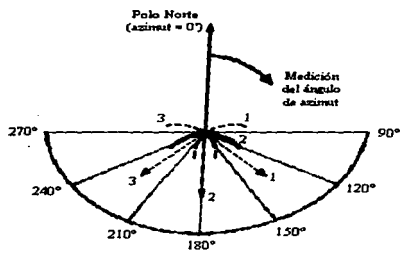


Figura 5-7

*C
O
N
C
L
U
S
I
O
N
E
S*

CONCLUSIONES

La comunicación hoy en día ha adquirido una importancia fundamental en el desarrollo de todos los países; participa de manera primaria en todas y cada una de las actividades de la vida humana. Dentro de este mundo de comunicación que vivimos, el manejo y la entrega de manera eficiente y oportuna de la información hace que las empresas (dependencias, países, etc.) trabajen dentro de niveles máximos de competitividad.

Es por ello, que día con día se trata de implementar nuevas técnicas para la transmisión de la información: desarrollando nuevos dispositivos que cada vez tienen mayor capacidad, versatilidad, alcance, rapidez, así como ideando nuevas rutas y estrategias que permitan alcanzar las metas fijadas.

Gracias a sus características, la comunicación vía satélite ha alcanzado un gran desarrollo en los últimos años, convirtiéndose en soporte primario de las comunicaciones mundiales. Dentro de las comunicaciones llamadas domésticas, ha cobrado gran importancia ya que representa una alternativa económica y de fácil instalación para gran cantidad de empresas que demandaban un servicio de comunicación que se ajustara a sus necesidades y que cumpliera con los niveles de calidad y confiabilidad requeridos.

Los satélites que se utilizan para comunicaciones domésticas son del tipo geostacionario y ofrecen servicios ya sea fijos o móviles. Ahora con la implementación de la banda L en el sistema de satélites Solidaridad creo que las comunicaciones móviles tendrán un desarrollo importante en México. Existen sistemas de comunicación móvil como lo son la telefonía celular y los radiolocalizadores (pagers) que utilizan sistemas de radio o microondas pero, se encuentran limitados a su área de cobertura que generalmente son las ciudades más importantes y algunos tramos de carreteras; también se encuentra en desarrollo en Europa y Estados Unidos lo que se ha denominado como RDS y que permite la transmisión de información en la misma señal emitida por una estación de radio, pero dicha comunicación es unidireccional y además también está limitada por la cobertura de la estación.

En cambio utilizando el servicio móvil que ofrece el sistema de satélites Solidaridad se puede estar en constante contacto en cualquier parte del país incluyendo su zona marítima patrimonial.

La comunicación vía satélite es sin lugar a dudas el único camino posible para una empresa que pretende tener su propia infraestructura de comunicaciones a nivel nacional e incluso internacional, ya que el uso de cualquier otra forma de comunicación supondría una inversión mayor o bien la renta de equipo y el pago de servicios que si bien es aconsejable para comunicar unos cuantos nodos (4 ó 5) a la larga resulta mejor opción el poseer un sistema propio, con la ventaja de que no se depende de nadie para obtener el servicio que generalmente es proporcionado por Teléfonos de México y que a la fecha, aunque su servicio ha mejorado, todavía es bastante pobre.

Por la cobertura que ofrece la comunicación vía satélite, es posible recibir una información y retransmitirla simultáneamente a todas las estaciones integrantes de la red en el país.

Cuando una dependencia instala su propia red, se analiza la importancia que tendrá ésta dentro del proceso operativo de la empresa para determinar el grado de confiabilidad que se espera obtener con el sistema. Una vez que se fija el porcentaje de confiabilidad, que por lo general es de 99.8%, se determina la capacidad de transmisión que se desea obtener para definir la antena y todos los demás componentes que se utilizarán en la estación terrena.

Para elevar el porcentaje de confiabilidad, se estudian los parámetros que determinan a éste como es la redundancia (equipo de respaldo), características de operación del equipo y suministro de energía; por lo tanto, cuanto más se quiera aproximar dicho porcentaje de confiabilidad al 100% más alta será la inversión requerida.

Para todo este cálculo se utiliza un programa de computadora que contiene ya todos los parámetros que intervienen y afectan a la señal en su recorrido desde la estación terrena transmisora hasta la estación terrena receptora y al que se le suministran las características de los equipos que se desean utilizar, la confiabilidad requerida y la capacidad de transmisión que se necesita; este cálculo nos da como resultado si es o no posible implementar el enlace que deseamos. El cálculo es necesario hacerlo para cada enlace de la red, ya que la situación geográfica de las estaciones y la capacidad de transmisión puede variar de un enlace a otro.

Para un sistema dentro de los estándares normales y que operaba a través de los satélites Morelos, se utilizaban antenas de entre 2.4 y 3.6 metros de diámetro para las llamadas

estaciones remotas y entre 4.5 y 6.4 metros para las estaciones maestras; es muy factible que las antenas se reduzcan de tamaño para sistemas que operen con los nuevos satélites Solidaridad.

Aunque parezca que se está familiarizado con todo lo que implica la instalación de un sistema de este tipo, si no se tienen conocimientos profundos de la materia, es aconsejable tener un departamento con gente especializada y capacitada para resolver cualquier problema durante la implementación de la red y después durante la operación, o por lo menos contratar a algún consultor externo.

Un fenómeno que se presenta en algunas ocasiones es la resistencia al cambio debido a que personas acostumbradas a un tipo de servicio, se les hace raro tener una marcación directa a otra ciudad y con excelente calidad, o el envío y recepción tan veloz de la información; por otro lado existe otro tipo de gente que piensa que su uso es extremadamente complicado y prefieren seguir utilizando el viejo sistema. Debido a esto, se deben considerar etapas paulatinas de educación para ir familiarizando al personal.

En México, existe ya una gran variedad de proveedores de equipo que ofrecen distintas alternativas para la implementación de este tipo de redes, con diferentes antenas, diversos sistemas de acceso y parámetros en general que pueden ajustarse a las necesidades de cada empresa. Entre las marcas proveedoras más importantes se encuentran Spar Communications, Nippon Electric Corporation (NEC), Scientific Atlanta y Hughes.

*A
P
E
N
D
I
C
E
S*

El decibel

Los fundamentos en torno al término decibel tienen su origen en el hecho establecido de que los niveles de potencia y audio se relacionan en forma logarítmica. Esto es, un aumento en el nivel de potencia, digamos de 4 a 16 W (watts), para propósitos de análisis, no significa que el nivel de audio se incrementará en un factor de $16/4 = 4$.

Se incrementará mediante un factor de 2 de acuerdo a como se deduce de la potencia de 4 del modo siguiente: $(4)^2 = 16$. En un cambio de 4 a 64 W, el nivel de audio se incrementará en un factor de 3, puesto que $(4)^3 = 64$. En forma logarítmica, la relación puede escribirse como

$$\log_4 64 = 3$$

En palabras, la ecuación establece que el logaritmo de 64 en base 4 es 3. En general: $\log_b a = x$ relaciona las variables de la misma manera que $b^x = a$.

Debido a necesidades de estandarización, el bel (B) se definió mediante la siguiente ecuación para relacionar los niveles de potencia P_1 y P_2 :

$$G = \log_{10} P_2/P_1 \quad \text{con bel como unidad}$$

El término bel proviene del apellido de Alexander Graham Bell. Sin embargo se ha encontrado que el bel es una unidad de medida demasiado grande para propósitos prácticos, por lo que se ha definido el decibel (dB), de manera que 10 decibeles = 1 bel. Por lo tanto:

$$G_{db} = 10 \log_{10} P_2/P_1 \quad \text{con decibeles como unidad}$$

El valor nominal terminal del equipo electrónico de comunicaciones se especifica normalmente en decibeles. Sin embargo la ecuación anterior indica claramente que el valor nominal en decibeles es una medida de la diferencia en magnitud entre dos niveles de potencia. Para una potencia terminal (salida) P_2 debe existir un nivel de potencia de referencia P_1 . Por lo general se acepta que el nivel de referencia sea 1 mW (milliwatt), aunque en ocasiones se aplica la norma de 6 mW de años atrás. La resistencia que se asocia con el nivel de potencia de 1 mW corresponde a 600Ω (ohms), elegida debido a que es la impedancia característica de las líneas de transmisión de audio.

Cuando el nivel de 1 mW se emplea como nivel de referencia, el símbolo de decibel aparece a menudo como dBm. Del mismo modo, cuando aparece el símbolo dBw, quiere decir que como nivel de referencia o entrada P_1 se tomó 1 W.

APENDICE B

Tabla de capacidad de tráfico de Erlang

Troncales	Grado de servicio 1 en 1000		Grado de servicio 1 en 500		Grado de servicio 1 en 200		Grado de servicio 1 en 100		Grado de servicio 1 en 50		Grado de servicio 1 en 20	
	UC	TU	UC	TU	UC	TU	UC	TU	UC	TU	UC	TU
1	0.04	0.0011	0.07	0.002	0.2	0.005	0.6	0.01	0.7	0.02	1.8	0.05
2	1.8	0.05	2.5	0.07	4	0.11	5.4	0.15	7.9	0.22	14	0.38
3	6.8	0.19	9	0.23	15	0.35	17	0.46	22	0.61	37	0.90
4	16	0.44	19	0.33	25	0.70	31	0.87	39	1.08	53	1.52
5	27	0.76	32	0.50	41	1.13	49	1.36	60	1.66	80	2.22
6	41	1.15	48	1.33	58	1.62	69	1.91	82	2.28	107	2.96
7	57	1.59	63	1.69	78	2.16	90	2.50	108	2.94	135	3.74
8	74	2.05	83	2.31	98	2.73	113	3.13	131	3.63	163	4.54
9	92	2.54	103	2.83	120	3.33	136	3.78	156	4.34	193	5.37
10	111	3.09	123	3.43	143	3.96	161	4.46	183	5.08	224	6.22
11	131	3.65	143	4.02	166	4.61	186	5.16	210	5.84	253	7.08
12	152	4.23	167	4.64	190	5.28	212	5.86	238	6.62	286	7.95
13	174	4.83	190	5.27	215	5.96	238	6.61	267	7.41	318	8.88
14	196	5.45	213	5.92	240	6.66	265	7.35	293	8.20	350	9.73
15	219	6.08	237	6.58	266	7.38	292	8.11	324	9.01	383	10.63
16	242	6.72	261	7.25	292	8.10	319	8.87	354	9.83	415	11.54
17	266	7.38	286	7.93	318	8.83	347	9.63	384	10.66	449	12.46
18	290	8.03	311	8.64	345	9.38	376	10.44	414	11.49	482	13.38
19	314	8.72	337	9.33	372	10.33	404	11.23	444	12.33	515	14.31
20	339	9.41	363	10.07	399	11.09	433	12.03	474	13.18	549	15.25
21	364	10.11	389	10.79	427	11.86	462	12.84	505	14.04	583	16.19
22	389	10.81	415	11.53	455	12.63	491	13.65	536	14.90	617	17.13
23	415	11.52	442	12.27	483	13.42	521	14.47	567	15.76	651	18.08
24	441	12.24	468	13.01	511	14.20	550	15.29	599	16.63	685	19.03
25	467	12.97	495	13.76	540	15.00	580	16.12	630	17.50	720	19.98
26	493	13.70	523	14.52	569	15.80	611	16.96	662	18.38	754	20.94
27	520	14.44	550	15.28	598	16.60	641	17.80	693	19.26	788	21.90
28	546	15.18	578	16.05	627	17.41	671	18.64	725	20.15	823	22.87
29	573	15.93	606	16.83	656	18.22	702	19.49	757	21.04	858	23.83
30	600	16.68	634	17.61	685	19.03	732	20.34	789	21.93	893	24.80
31	628	17.44	662	18.39	713	19.85	763	21.19	822	22.83	928	25.77
32	655	18.20	690	19.18	744	20.68	794	22.05	854	23.73	963	26.75
33	683	18.97	719	19.97	774	21.51	825	22.91	887	24.63	998	27.72
34	711	19.74	747	20.76	804	22.34	856	23.77	919	25.53	1033	28.70
35	739	20.52	776	21.56	834	23.17	887	24.64	951	26.43	1068	29.68
36	767	21.30	805	22.36	864	24.01	918	25.51	984	27.34	1104	30.66
37	793	22.03	834	23.17	895	24.85	950	26.38	1017	28.25	1139	31.64
38	823	22.86	863	23.97	925	25.69	981	27.23	1050	29.17	1175	32.63
39	851	23.63	892	24.78	955	26.53	1013	28.13	1083	30.08	1210	33.61
40	880	24.44	921	25.60	986	27.38	1044	29.01	1116	31.00	1246	34.60
41	909	25.24	951	26.42	1016	28.23	1076	29.89	1149	31.92	1281	35.59
42	937	26.04	981	27.24	1047	29.08	1108	30.77	1182	32.84	1317	36.58
43	966	26.84	1010	28.06	1078	29.94	1140	31.66	1215	33.76	1353	37.57
44	993	27.64	1040	28.88	1109	30.80	1171	32.54	1248	34.68	1388	38.56
45	1024	28.45	1070	29.71	1140	31.66	1203	33.43	1282	35.61	1424	39.55
46	1053	29.26	1099	30.54	1171	32.52	1236	34.32	1315	36.53	1459	40.54
47	1083	30.07	1129	31.37	1202	33.36	1268	35.21	1349	37.46	1493	41.54
48	1111	30.88	1159	32.20	1233	34.25	1300	36.11	1382	38.39	1531	42.54
49	1141	31.69	1189	33.04	1264	35.11	1332	37.00	1415	39.32	1567	43.54
50	1170	32.51	1220	33.88	1295	35.98	1364	37.90	1449	40.25	1603	44.53

Tabla de capacidad de tráfico de Erlang

Troncales	Grado de servicio 1 en 1000		Grado de servicio 1 en 500		Grado de servicio 1 en 300		Grado de servicio 1 en 100	
	UC	TU	UC	TU	UC	TU	UC	TU
31	1200	33.33	1200	34.72	1207	36.83	1317	39.80
32	1220	34.11	1260	35.56	1358	37.72	1429	39.70
33	1250	34.88	1310	36.40	1390	38.60	1462	40.60
34	1280	35.60	1341	37.23	1421	39.47	1494	41.50
35	1310	36.43	1371	38.09	1453	40.33	1527	42.41
36	1340	37.16	1402	38.94	1484	41.20	1559	43.31
37	1370	37.99	1432	39.79	1516	42.11	1592	44.22
38	1400	38.72	1463	40.64	1548	42.99	1625	45.13
39	1430	39.56	1494	41.50	1579	43.87	1657	46.04
40	1460	40.29	1525	42.35	1611	44.74	1690	46.95
41	1490	41.03	1556	43.21	1643	45.64	1723	47.86
42	1520	41.77	1587	44.07	1675	46.53	1756	48.77
43	1550	42.51	1617	44.93	1707	47.42	1789	49.69
44	1580	43.10	1648	45.79	1739	48.31	1822	50.60
45	1610	43.80	1679	46.65	1771	49.20	1855	51.52
46	1640	44.51	1710	47.51	1803	50.09	1888	52.44
47	1670	45.20	1742	48.38	1835	50.98	1921	53.35
48	1711	47.34	1773	49.24	1867	51.87	1954	54.27
49	1742	48.39	1804	50.11	1900	52.77	1987	55.19
50	1773	49.24	1835	50.98	1932	53.66	2020	56.11
51	1805	50.09	1867	51.85	1964	54.56	2053	57.03
52	1837	50.94	1898	52.72	1996	55.43	2087	57.96
53	1869	51.80	1929	53.59	2029	56.35	2120	58.88
54	1895	52.65	1960	54.46	2061	57.25	2153	59.80
55	1926	53.31	1992	55.34	2093	58.13	2186	60.73
56	1957	54.37	2024	56.21	2126	59.03	2219	61.65
57	1988	55.23	2055	57.06	2159	59.96	2253	62.58
58	2019	56.09	2087	57.96	2191	60.86	2286	63.51
59	2050	56.95	2118	58.84	2223	61.76	2319	64.43
60	2081	57.81	2150	59.72	2256	62.67	2353	65.36
61	2112	58.67	2182	60.60	2289	63.57	2386	66.29
62	2145	59.54	2213	61.48	2321	64.48	2420	67.22
63	2174	60.40	2245	62.35	2354	65.38	2453	68.15
64	2206	61.27	2277	63.24	2386	66.29	2487	69.08
65	2237	62.14	2308	64.13	2419	67.20	2521	70.02
66	2268	63.00	2340	65.01	2452	68.11	2554	70.95
67	2299	63.87	2372	65.89	2485	69.02	2588	71.88
68	2330	64.74	2404	66.78	2517	69.93	2621	72.81
69	2362	65.61	2436	67.67	2550	70.84	2655	73.75
70	2393	66.48	2468	68.56	2583	71.76	2688	74.68
71	2425	67.36	2500	69.44	2616	72.67	2722	75.62
72	2456	68.23	2532	70.33	2650	73.58	2756	76.56
73	2488	69.10	2564	71.22	2682	74.49	2790	77.49
74	2519	69.98	2596	72.11	2715	75.41	2823	78.43
75	2551	70.85	2628	73.00	2748	76.32	2857	79.37
76	2582	71.73	2660	73.90	2781	77.24	2891	80.31
77	2614	72.61	2692	74.79	2814	78.16	2925	81.24
78	2645	73.48	2724	75.68	2847	79.07	2958	82.18
79	2677	74.36	2757	76.57	2880	79.99	2992	83.12
80	2709	75.24	2789	77.47	2913	80.91	3026	84.06

Tabla de capacidad de tráfico de Erlang

Troncales	Grado de servicio 1 en 1000		Grado de servicio 1 en 500		Grado de servicio 1 en 200		Grado de servicio 1 en 100	
	UC	TU	UC	TU	UC	TU	UC	TU
101	2740	76.12	2921	78.36	2940	81.83	3060	85.00
102	2772	77.01	2953	79.26	2970	82.75	3094	85.95
103	2804	77.88	2986	80.16	3012	83.67	3128	86.89
104	2836	78.77	3018	81.05	3045	84.59	3162	87.83
105	2867	79.65	3050	81.95	3078	85.51	3196	88.77
106	2899	80.53	3083	82.85	3111	86.43	3230	89.72
107	2931	81.42	3115	83.75	3145	87.35	3264	90.66
108	2963	82.30	3147	84.65	3178	88.27	3298	91.60
109	2995	83.19	3180	85.55	3211	89.20	3332	92.55
110	3027	84.07	3212	86.45	3244	90.12	3366	93.49
111	3059	84.96	3245	87.35	3277	91.04	3400	94.44
112	3091	85.85	3277	88.25	3311	91.97	3434	95.38
113	3122	86.73	3309	89.15	3344	92.89	3468	96.33
114	3154	87.62	3342	90.06	3378	93.82	3502	97.28
115	3186	88.51	3375	90.96	3411	94.74	3536	98.22
116	3218	89.40	3407	91.86	3444	95.67	3570	99.17
117	3250	90.29	3440	92.77	3478	96.60	3604	100.12
118	3282	91.18	3472	93.67	3511	97.53	3638	101.07
119	3315	92.07	3505	94.58	3544	98.45	3673	102.02
120	3347	92.96	3537	95.48	3578	99.38	3707	102.96
121	3379	93.86	3570	96.39	3611	100.31	3741	103.91
122	3411	94.75	3603	97.30	3645	101.24	3775	104.86
123	3443	95.64	3635	98.20	3678	102.17	3809	105.81
124	3475	96.54	3668	99.11	3712	103.10	3843	106.76
125	3507	97.43	3701	100.02	3745	104.03	3878	107.71
126	3540	98.33	3733	100.93	3779	104.96	3912	108.66
127	3572	99.23	3766	101.84	3812	105.89	3946	109.62
128	3604	100.12	3799	102.75	3846	106.82	3981	110.57
129	3636	101.01	3832	103.66	3879	107.75	4015	111.52
130	3668	101.91	3865	104.57	3912	108.68	4049	112.47
131	3701	102.81	3897	105.48	3946	109.62	4083	113.42
132	3733	103.70	3930	106.39	3980	110.55	4118	114.38
133	3765	104.60	3963	107.30	4015	111.48	4152	115.33
134	3798	105.50	3996	108.22	4047	112.42	4186	116.28
135	3830	106.40	4029	109.13	4081	113.35	4221	117.24
136	3863	107.30	4061	110.04	4114	114.28	4255	118.19
137	3895	108.20	4094	110.95	4148	115.22	4289	119.14
138	3928	109.10	4127	111.87	4181	116.15	4324	120.10
139	3960	110.00	4160	112.78	4215	117.09	4358	121.05
140	3993	110.90	4193	113.70	4249	118.02	4392	122.01
141	4025	111.81	4226	114.61	4283	118.96	4427	122.96
142	4058	112.71	4259	115.53	4316	119.90	4461	123.92
143	4090	113.61	4292	116.44	4350	120.83	4495	124.88
144	4122	114.51	4325	117.36	4384	121.77	4530	125.83
145	4155	115.42	4358	118.28	4418	122.71	4564	126.79
146	4188	116.32	4391	119.19	4451	123.64	4599	127.74
147	4220	117.22	4424	120.11	4485	124.58	4633	128.70
148	4253	118.13	4457	121.03	4519	125.52	4668	129.66
149	4285	119.03	4490	121.95	4552	126.46	4702	130.62
150	4318	119.94	4523	122.86	4586	127.40	4737	131.58

APENDICE C

Valores típicos de margen por lluvia (M_L)

DISPONIBILIDAD	REGION D ANGULO DE ELEVACION (grados)									
	(%)	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
99.99	13.9	9.8	7.5	6.0	5.3	4.3	3.8	3.3	3.0	
99.95	9.5	6.0	4.5	3.3	2.9	2.4	1.9	1.4	1.1	
99.90	7.2	4.2	3.15	2.0	1.9	1.3	0.9	0.8	0.6	
99.75	4.4	2.25	1.5	1.1	1.0	0.75	0.75	0.6	0.6	
99.50	3.1	1.4	1.0	0.8	0.6	0.5	0.3	0.3	0.2	
99.00	1.6	0.9	0.6	0.5	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	

DISPONIBILIDAD	REGION E ANGULO DE ELEVACION									
	%	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
99.99	27.3	24.0	20.7	18.4	16.7	16.0	15.3	15.0	15.0	
99.95	20.7	17.4	14.6	12.6	11.6	11.6	10.8	9.6	9.3	
99.90	16.0	12.5	10.3	8.7	7.7	7.2	6.6	6.0	5.8	
99.75	9.6	7.0	5.4	4.5	3.8	3.3	2.9	2.7	2.5	
99.50	6.3	4.0	3.0	2.3	2.0	1.5	1.3	1.1	1.0	
99.00	4.0	2.0	1.6	1.3	1.0	0.6	0.5	0.5	0.4	

DISPONIBILIDAD	REGION F ANGULO DE ELEVACION									
	%	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
99.99	8.7	6.1	4.7	3.8	3.3	2.7	2.4	2.1	1.9	
99.95	6.0	3.8	2.8	2.1	1.8	1.5	1.2	0.9	0.7	
99.90	4.6	2.7	2.0	1.2	0.9	0.6	0.6	0.5	0.4	
99.75	3.5	1.8	1.2	0.9	0.8	0.6	0.6	0.5	0.4	
99.50	2.7	1.2	0.9	0.7	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	
99.00	2.1	0.9	0.7	0.5	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	

DISPONIBILIDAD	REGION G ANGULO DE ELEVACION									
	%	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
99.99	17.0	12.0	9.3	7.8	6.6	6.0	5.4	5.1	4.8	
99.95	12.0	8.0	6.0	4.8	4.1	3.6	3.2	3.0	2.9	
99.90	8.4	5.4	3.9	3.1	2.7	2.1	2.0	1.8	1.5	
99.75	5.0	3.0	2.1	1.5	1.2	1.0	0.9	0.8	0.7	
99.50	3.3	1.8	1.2	0.9	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	
99.00	1.6	0.9	0.6	0.5	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	

APENDICE D _____
Formato para inspección de sitios (Site survey)

FORMATO DE INSPECCION DE SITIOS

1.0 INFORMACION DEL SITIO

NOMBRE DEL USUARIO _____

NOMBRE DEL SITIO _____

NUM. DEL SITIO _____ **TIPO DE SITIO** _____

FECHA DE INSPECCION _____

LOCALIZACION DEL SITIO

LOCALIZACION GEOGRAFICA: _____

DIRECCION DE ENVIO (SI ES DIFERENTE) _____

CONTACTO PRINCIPAL EN SITIO _____

TELEFONO: _____

CONTACTO ALTERNO: _____

TELEFONO: _____

ACCESO EN FIN DE SEMANA: SI _____ NO _____

ACOMPANANTE REQUERIDO: SI _____ NO _____

LATITUD: _____ **LONGITUD** _____

DESVIACION MAGNETICA _____ **DE TABLA** _____ **REAL SI DISPONIBLE**

ALTITUD _____

DESCRIPCION GENERAL DEL SITIO: _____

ESTADO DEL SITIO

TERRENO VIRGEN SI _____ NO _____

LISTO PARA PREPARAR SI _____ NO _____

PREPARADO (CAMINO DE ACCESO) SI _____ NO _____

INSTALACIONES COMPLETAS SI _____ NO _____

COMENTARIOS: _____

MEJORAS REQUERIDAS AL SITIO:

ACONDICIONAR COMPLETAMENTE SI _____ NO _____
 QUITAR OBSTACULOS, DAR FORMA Y CAMINO DE ACCESO SI _____ NO _____
 SERVICIOS (AGUA, ELECTRICIDAD, TELEFONO, ETC.) SI _____ NO _____
 EDIFICIO SI _____ NO _____
 BASE PARA LA ANTENA SI _____ NO _____

2.0 LOCALIZACION DE LA ANTENA

EN LA PAGINA 2-8 PROVEER DIBUJO A MANO Y FOTOGRAFIAS DE LA ANTENA EN LA 2-9. MOSTRANDO LOCALIZACION RELATIVA AL EDIFICIO FACILIDADES U OTROS PUNTOS DE IMPORTANCIA.

TIPO DE ANTENA (MONTAJE)

EN TIERRA (PLATAFORMA) SI _____ NO _____
 EN TIERRA (MASTIL ENTERRADO) SI _____ NO _____

OTRO _____

2.1 VISTA DEL ARCO SATELITAL

ANGULOS DE AZIMUTH Y ELEVACION ESPECIFICOS POR SITIO SE PUEDEN ENCONTRAR EN EL APENDICE G. EL ANGULO DE AZIMUTH INCLUYE AJUSTE PARA LA DESVIACION MAGNETICA DEL SITIO (DEL NORTE REAL) LOS VALORES DE AZIMUTH ABAJO, REPRESENTAN LA LECTURA MAGNETICA DIRECTA DE LA BRUJULA.

	AZIMUTH	ELEVACION
LIMITE ESTE (PARA SATELITE @ 45° W)	_____	_____
LINEA CENTRAL DE LA BASE	_____	_____
MORELOS @ 116.80 W	_____	_____
LIMITE OESTE (PARA SATELITE @ 130° W)	_____	_____

ESTA BLOQUEADA LA VISTA PARA EL ARCO SATELITAL NO _____ SI _____

SI, ES ASI LISTE LAS EXCEPCIONES: _____

INTERFERENCIA DE RADIO FRECUENCIA

CONSIDERACIONES _____

2.2 MONTAJE EN TIERRA (PLATAFORMA DE CONCRETO)

**EXISTE SUFICIENTE AREA PARA LA BASE DE LA ANTENA, LABORES E
INSTALACION (VER APENDICES A Y B PARA ESPACIO MINIMO
REQUERIDO)**

SI _____ **NO** _____ **EXPLICAR:** _____

SE REQUIERE EXCAVACION SI _____ **NO** _____ **EXPLICAR:** _____

**SOBRE QUE PASA LA EXCAVACION (PAVIMIENTO, ESTACIONAMIENTO,
ETC.)
EXPLICAR:** _____

SE REQUIERE BARDA DE SEGURIDAD SI _____ **NO** _____ **EXPLICAR:** _____

CONSIDERACIONES ESPECIALES: _____

2.3 TIPO DE MONTAJE DE ANTENA:

SI EL MONTAJE EN TIERRA NO ES POSIBLE, EXPLICAR: _____

3.0 EQUIPO INTERIOR

DESCRIBIR LOCALIZACION PROPUESTA DEL EQUIPO INTERIOR
(EDIFICIO, EXISTENTE, PLANEADO, ETC.)

ESQUEMA DE DISTRIBUCION DE PISO PROVEER ESQUEMA DE LAS
FACILIDADES INCLUYENDO DIMENSIONES DEL ESPACIO PROPUESTO,
ALTURA DE TECHO EN EL CUARTO DE EQUIPO. PONER FOTOGRAFIA
EN LA PAGINA 2-12.

ESPACIO PROPUESTO PARA EL EQUIPO INTERIOR:

CUARTO DEL PBX: _____

ALMACEN _____ OTRO _____

SI EXISTE EDIFICIO; HAY SUFICIENTE ESPACIO PARA COLOCAR EL
EQUIPO INTERIOR?
(VER APENDICE E PARA REQUERIMIENTOS DE ESPACIO EN PISO)

SI _____ NO _____ EXPLICAR _____

HAY ENERGIA ELECTRICA DISPONIBLE PARA EL EQUIPO?

SI _____ NO _____ EXPLICAR: _____

ENERGIA DEL EDIFICIO

COMERCIAL: SI _____ NO _____ EXPLICAR: _____

GENERADOR: SI _____ NO _____ EXPLICAR: _____

ENERGIA ELECTRICA: FASE _____ VOLTS _____ FRECUENCIA _____ (Hz)

CAPACIDAD MAXIMA DE POTENCIA: _____

EXISTIRA ENERGIA ININTERRUMPIDA: SI _____ NO _____ EXPLICAR _____

ENERGIA ELECTRICA DEDICADA O NO- DEDICADA? _____

SI ES NO DEDICADA QUE OTROS APARATOS ESTAN EN CIRCUITO? _____

ESTARA EL EQUIPO INTERIOR LOCALIZADO EN EL MISMO CUARTO QUE EL SIGUIENTE EQUIPO DEL USUARIO.

CONMUTADOR: SI _____ NO _____

EXPLICAR: _____

PANEL DE DISTRIBUCION: SI _____ NO _____ EXPLICAR: _____

TERMINALES DE DATOS: SI _____ NO _____ EXPLICAR: _____

LA ENTRADA DE CABLE AL CUARTO DE EQUIPO INTERIOR VIENE DEL:

PISO _____ TECHO _____

EXISTIRA PISO FALSO SI _____ NO _____ EXPLICAR: _____

HABRA PERSONAL EN EL MISMO CUARTO? SI _____ NO _____

CONSIDERACIONES ESPECIALES _____

4.0 ENLACE ENTRE EDIFICIOS

PROVEER ESQUEMA DE LOS CONDUCTOS DE CABLEADO DE LA BASE DE LA ANTENA AL EQUIPO INTERIOR Y SUS DIMENSIONES:

LONGITUD DE LOS SEGMENTOS DE CABLE EN LA RUTA
 DE LA ANTENA A LA ENTRADA DEL EDIFICIO _____ METROS
 ENTRADA DEL EDIFICIO AL RACK DE EQUIPO INTERIOR _____ METROS
 LONGITUD TOTAL _____ METROS
 NUMERO DE PISOS QUE EL CABLE DEBE PASAR _____
 SE REQUERIRA CONDUCTO DE LA ENTRADA AL EQUIPO SI _____ NO _____
 OTRO _____

EXISTE CONDUCTO DEL SITIO DE LA ANTENA AL EDIFICIO?

NO _____ SI _____ SI ES ASI CHECAR RUTA DE LOS CONDUCTOS Y
 PROVEER LA SIGUIENTE INFORMACION:

SI EXISTEN LOS CONDUCTOS EXPLIQUE PROPOSITO _____
 CUANTOS CONDUCTOS: _____

ACCESO AL EXTERIOR:

CONDUCTO: TIPO _____ DIAMETRO _____ LONGITUD _____

REGISTROS: CANTIDAD _____ TAMAÑO _____ LOCALIZACION _____

QUIEBRES A 90°. CANTIDAD: _____ LOCALIZACION _____

PENETRACION DE PAREDES: TIPO _____ DIAMETRO _____

CABLE INTERIOR:

CONDUCTO: NO _____ SI _____ SI ES SI TIPO _____ DIAMETRO _____

LONGITUD _____

REGISTROS: CANTIDAD _____ TAMAÑO _____ LOCALIZACION _____

QUIEBRES A 90°. CANTIDAD: _____ LOCALIZACIONES: _____

PENETRACION DE PAREDES TIPO: _____ DIAMETRO: _____

5. TRANSPORTACION, ACCESO Y HOSPEDAJE

POBLACION MAS CERCANA/AEROPUERTO: _____

CARRETERA MAS CERCANA: _____

TRANSPORTACION A/DESDE EL SITIO

MODO # 1 SUPERFICIE: TIPO: _____

CAMINO (COCHE, CAMION, ETC) DISTANCIA A/DESDE: _____

MODO # 2 - AEREO

AVION TIPO: _____

DISTANCIA A/DESDE: _____

FRECUENCIA DE VUELOS _____

HOSPEDAJE: TIPO: _____

SELECCION 1

SELECCION 2

UBICACION DEL HOTEL _____

DIRECCION: _____

TELEFONO: _____

TARIFAS: _____

OTROS:

EXISTE MANO DE OBRA PARA AYUDAR CON EL REFLECTOR DE LA ANTENA

NO ___ SI ___ PERSONA A CONTACTAR PARA MANO DE OBRA _____

TELEFONO: _____

CONTACTO PARA OPERADOR DE GRUA _____ TELEFONO: _____

CONTACTO MONTA - CARGAS _____ TELEFONO: _____

CONSIDERACIONES ESPECIALES: _____

ESQUEMA DE LOCALIZACION DE ANTENA

INCLUIR LOCALIZACION RELATIVA DE LA ANTENA AL EDIFICIO O CUALQUIER OTRO PUNTO IMPORTANTE, INDICANDO NORTE MAGNETICO, DIRECCIONAMIENTO DE ANTENA O CUALQUIER OTRA ESTRUCTURA QUE BLOQUEE LA VISTA DEL ARCO SATELITAL.

VISTA SUPERIOR

ESQUEMA DE LOCALIZACION DE ANTENA (CONTINUA)

INCLUYA LOCALIZACION DE ANTENA Y ANGULO DE ELEVACION Y ESTRUCTURAS QUE PUDIERAN BLOQUEAR LA VISTA DEL SATELITE.

VISTA LATERAL

FOTOGRAFIAS LOCALIZACION DE ANTENA

Coloque fotografias aqui

**(Coloque Fotografias Aqui)
NE - SW
SI EXISTEN OBSTRUCCIONES
POTENCIALES.**

**(Coloque Fotografias Aqui)
NW - SE
SI EXISTEN OBSTRUCCIONES
POTENCIALES.**

ESQUEMA DE EQUIPO INTERIOR

PROVEER DETALLES DEL EQUIPO INTERIOR DENTRO DEL CUARTO DE COMUNICACIONES Y SU LOCALIZACION DENTRO DEL EDIFICIO, MUESTRE ACCESO DE CABLEADOS Y SU RUTA INTERIOR.

FOTOGRAFIAS DE EQUIPO INTERIOR

*B
I
B
L
I
O
G
R
A
F
I
A*

BIBLIOGRAFIA

Bleazard G.B. Introducing satellite communications

Estados Unidos

Editorial NCC Publications

Cárdenas Hernández José Las telecomunicaciones en el desarrollo de México
México

Editorial Telecomunicaciones de México, 1992

Fehér Kamilo Digital communications: Satellite/Earth station engineering

Estados Unidos

Editorial Prentice-Hall, 1983

Freeman Roger L. Ingeniería de sistemas de telecomunicaciones

México

Editorial Limusa, 1991

Galindo Arellano Angel Principios de comunicación vía satélite

México

Editorial Publicaciones Telcomex, 1987

Gómez-Mont Carmen El desafío de los nuevos medios de comunicación en México

México

Editorial Diana, 1992

Kuhlmann Federico y Alonso C. Antonio Comunicaciones: Pasado y Futuros

México

Editorial Fondo de Cultura Económica, 1989

Marcombo S.A. Comunicaciones vfa satélite

España

Editorial Boixareu editores, 1986

Miya K. Satellite communications technology

Japón

Editorial KDD Engineering and consulting, Inc., 1983

Morgan Walter L. y Gordon Gary D. Communications satellite handbook

Estados Unidos

Editorial John Wiley & Sons, 1989

Neri Vela Rodolfo Satélites de comunicaciones

México

Editorial Mc Graw Hill, 1989

Pritchard Wilbur L. y Sciulli Joseph A. Satellite communications systems engineering

Estados Unidos

Editorial Prentice-Hall, 1986

Seminario británico sobre la planificación y operación de las estaciones terrestres para los satélites de comunicaciones Autores varios

Sección B, documento nº 1 y 2

Sección G, documento nº 1

Gran Bretaña

Manuales:

Fthenakis Emanuel Manual of satellite communications
Estados Unidos
Editorial Mc Graw Hill Book Company, 1984

Revistas y folletos:

Folleto Los satélites Morelos
México
Editorial Telecomunicaciones de México

Folleto Sistema de satélites Solidaridad
México
Editorial Telecomunicaciones de México

Nieves Julián Angel Conceptos fundamentales del sistema global de comunicaciones
vía satélite Breviarios Telecomex, vol.10, nº41
México
Editorial Publicaciones Telecomex, 1976

Teledato nº 28 Revista de las direcciones generales de Telecomunicaciones y de
concesiones y permisos de Telecomunicaciones
México
Editorial Telecomunicaciones de México, 1983

Teledato nº 29 Revista de las direcciones generales de Telecomunicaciones y de
concesiones y permisos de Telecomunicaciones
México
Editorial Telecomunicaciones de México, 1984

Teledato n° 32 Revista de las direcciones generales de Telecomunicaciones y de concesiones y permisos de Telecomunicaciones
México

Editorial Telecomunicaciones de México, 1984

Teledato n° 36 Revista de Telecomunicaciones de México
México

Editorial Telecomunicaciones de México, 1985

Teledato n° 40 Revista de las direcciones generales de Telecomunicaciones y de normatividad y control de comunicaciones
México

Editorial Telecomunicaciones de México, 1986

Teledato n° 41 Revista de Telecomunicaciones de México
México

Editorial Telecomunicaciones de México, 1987

Teledato n° 48 Revista de Telecomunicaciones de México
México

Editorial Telecomunicaciones de México, 1988

Teledato n° 49 Revista de Telecomunicaciones de México
México

Editorial Telecomunicaciones de México, 1989

Teledato n° 53 Revista de Telecomunicaciones de México
México

Editorial Telecomunicaciones de México, 1992

Teledato n° 55 Revista técnica de Telecomunicaciones de México
México
Editorial Telecomunicaciones de México, 1992

Teledato n° 56 Revista técnica de Telecomunicaciones de México
México
Editorial Telecomunicaciones de México, 1992

*G
L
O
S
A
R
I
O*

GLOSARIO

Ancho de banda (bandwidth (BW))	Es el rango de frecuencias disponibles dentro de un canal de comunicaciones; es decir, la diferencia entre la frecuencia máxima y mínima de ese canal.
Area de cobertura	Es la proyección de las señales radiadas por el satélite sobre la superficie de la tierra. El término inglés utilizado para este fin es "Footprint".
Atenuación	Es el decremento en la magnitud de una señal de transmisión
Backoff	La reducción de la potencia de un amplificador con respecto a su potencia nominal para obtener una operación más lineal y evitar el ruido de intermodulación.
Canal duplex	Es un canal capaz de transmitir en ambas direcciones simultáneamente, es decir transmisión y recepción.
Canal half-duplex	Canal que puede transmitir en ambas direcciones pero solamente es capaz de transmitir en una dirección al mismo tiempo.
DAMA (Demand assigned multiple access)	Acceso múltiple con asignación por demanda.
DBS (Direct broadcast satellite)	Satélite de radiodifusión directa.
Decibel	Es la relación logarítmica entre dos niveles de potencia, tomando a uno como base.

Demodulación	Proceso por el cual la señal original es recuperada de una portadora modulada. Lo contrario de la modulación.
Enlace punto a punto	Es la configuración más simple de una red, comprende un enlace de comunicación entre dos puntos solamente.
Erlang	Unidad para medición de tráfico telefónico. Se refiere a la cantidad de tiempo de ocupación del canal.
FDMA (Frequency division multiple access)	Acceso múltiple por división en frecuencia.
Forward Error Correction (FEC).	La técnica que detecta y corrige los errores de transmisión e el nodo receptor.
Frecuencia	Es el número de "ondas" por segundo que genera una señal. Las unidades de medida de la frecuencia se conocen como Hertz (Hz).
GigaHertz	Un GigaHertz es igual a 10 a la 9 Hertz ó a 1,000 MegaHertz.
Intermodulación	El proceso por el cual frecuencias adyacentes se modulan unas a otras.
Modem	Es el dispositivo que en transmisión de datos sobre circuitos analógicos se utiliza para convertir de digital a analógico (modulación) y de analógico a digital (demodulación).
Modulación	Es el proceso mediante el cual una señal es superpuesta sobre una portadora de frecuencia más alta. También se puede realizar durante el mismo proceso la conversión de digital a analógico.

Multiplexaje	Es el proceso de combinar varios canales independientes en uno solo compuesto por todas las señales.
Omnidireccional	Se refiere a la capacidad de radiación de una antena. La antena omnidireccional esta diseñada para radiar en todas direcciones.
Portadora	La portadora es una señal de muy alta frecuencia (frecuencia portadora) que es modulada por la información que se desea transmitir o portar sobre ella. Este proceso es necesario para efectos de transmisión y para la ubicación de cada bloque de información dentro del espectro radioeléctrico, de tal forma que no se traslapen entre sí.
Potencia isotrópica radiada equivalente (PIRE).	Esta es una medida de la potencia radiada por una antena. Se deriva de la ganancia y la potencia alimentada a dicha antena.
Satélite	Cuerpo que gira alrededor de otro cuerpo de masa preponderante y cuyo movimiento está principalmente determinado por la fuerza de atracción de este último.
Señal de banda base	Es la señal de transmisión antes de su modulación sobre una portadora.
Tasa de bits erróneos (BER).	Es la proporción entre el total de bits transmitidos y los que se recibieron con error.
TDMA (Time division multiple access)	Acceso múltiple por división en el tiempo.
Transmisión duplex	Es la transmisión que tiene lugar en ambas direcciones simultáneamente, es decir que transmite y recibe al mismo tiempo.

Transmisión half-duplex Es la transmisión en ambas direcciones, pero no simultáneamente.

Transponder Es un dispositivo que se encuentra a bordo del satélite y que realiza las funciones de recibir una señal, amplificarla y enviarla de nuevo, además de que también puede cambiarle la frecuencia.

UPS (Uninterruptible power system) Sistema ininterrumpido de energía.

VSAT (Very small aperture terminal) Terminal de apertura muy pequeña. Es el tipo de estación terrena utilizado en las redes domésticas.