

01/29
29



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: GONZALEZ VELARDE VICTOR

FECHA: 11 / Febrero / 03

FIRMA: [Firma manuscrita]

BANDAS SATELITALES PARA COMUNICACIONES MOVILES

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
**INGENIERO ELECTRICO
ELECTRONICO**
(AREA DE COMUNICACIONES)

P R E S E N T A N:
**GONZALEZ VELARDE VICTOR
HERNANDEZ GARCIA EDEN
HERNANDEZ PEREZ FELIPE DE JESUS**

DIRECTOR DE TESIS:
ING. FERNANDO SOLORZANO PALOMARES

CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO, D.F. 2003





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.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Capítulo 1 LAS TELECOMUNICACIONES.....	1-1
I. 1 INTRODUCCIÓN.....	1-1
I. 2 MEDIOS DE TELECOMUNICACIÓN.....	1-2
I. 2.1 MEDIOS GUIADOS.....	1-3
I. 2.1.1 PAR DE COBRE.....	1-3
I. 2.1.2 CABLE COAXIAL.....	1-3
I. 2.1.3 FIBRA ÓPTICA.....	1-4
I. 2.1.3.1 TIPOS DE FIBRAS ÓPTICAS.....	1-5
I. 2.1.3.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS FIBRAS ÓPTICAS.....	1-9
I. 2.2 MEDIOS NO GUIADOS.....	1-10
I. 2.2.1 RADIOENLACES.....	1-10
I. 2.2.2 RADIO MICROONDAS.....	1-10
I. 3 HISTORIA DEL DESARROLLO DE LAS COMUNICACIONES POR SATÉLITE.....	1-11
I. 3.1 GENERACIONES DE SATÉLITES.....	1-15
PRIMERA GENERACIÓN.....	1-15
SEGUNDA GENERACIÓN.....	1-15
TERCERA GENERACIÓN.....	1-16
CUARTA GENERACIÓN.....	1-16
QUINTA GENERACIÓN.....	1-16
Capítulo 2 COMUNICACIONES MÓVILES.....	2-17
II. 1 CRONOLOGÍA DE LA TELEFONÍA.....	2-17
II. 2 VÍA SATÉLITE.....	2-19
II. 2.1 ELEMENTOS BÁSICOS DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN VÍA SATÉLITE.....	2-20
II. 2.1.1 SATÉLITE.....	2-20
II. 2.1.2 ESTACIÓN TERRENA.....	2-20
II. 2.1.3 ÓRBITAS SATELITALES.....	2-21
II. 2.2.3.1 SATÉLITES GEOESTACIONARIOS.....	2-21
II. 2.2.3.2 DESARROLLO DE LAS COMUNICACIONES VÍA SATÉLITE.....	2-22
II. 2.2.3.2.1 CLASIFICACIÓN DE LAS COMUNICACIONES ESPACIALES.....	2-22
II. 2.1.4 BANDAS SATELITALES.....	2-23
II. 2.2 ASPECTOS TEÓRICOS.....	2-23
II. 2.2.1 ELEMENTOS FÍSICOS QUE COMPONEN UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN VÍA SATÉLITE.....	2-23
II. 2.2.1.1 SEGMENTO ESPACIAL.....	2-24
SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	2-25
CENTRO DE CONTROL DE SATÉLITES.....	2-30
II. 2.2.1.2 SEGMENTO TERRESTRE.....	2-30
II. 2.2.2 ELEMENTOS TEÓRICOS QUE COMPONEN UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN VÍA SATÉLITE.....	2-34
II. 2.2.2.1 REUSO DE FRECUENCIA.....	2-34
II. 2.2.2.2 TÉCNICAS DE MODULACIÓN ANALÓGICA.....	2-36

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

II. 2.2.2.3 TÉCNICAS DE ACCESO MÚLTIPLE.....	2-38
II. 2.2.2.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS TÉCNICAS DE ACCESO EMPLEADAS POR LOS SISTEMAS SATELITALES.....	2-40
 Capítulo 3 COMUNICACIONES MÓVILES VÍA SATÉLITE.....	 3-41
III.1 TELEDESIC.....	3-42
III.1.1 DESCRIPCIÓN.....	3-42
III.1.2 CONSTELACIÓN SATELITAL.....	3-42
III.1.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL SATÉLITE.....	3-43
III.1.2.2 ÓRBITA.....	3-43
III.1.2.3 COBERTURA.....	3-43
III.1.3 TERMINALES.....	3-44
III.1.4 CARACTERÍSTICAS DE LA SEÑAL DE ENLACE.....	3-45
III.1.5 PERSPECTIVAS DEL SISTEMA.....	3-46
III.1.6 TARIFAS.....	3-47
III.2. IRIDIUM.....	3-47
III.2.1 DESCRIPCIÓN.....	3-47
III.2.2. CONSTELACIÓN SATELITAL.....	3-48
III.2.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL SATÉLITE.....	3-48
III.2.2.2 ÓRBITA.....	3-49
III.2.2.3 COBERTURA.....	3-50
III.2.3 TERMINALES.....	3-51
III.2.4 CARACTERÍSTICAS DE LA SEÑAL DE ENLACE.....	3-52
III.2.5 PERSPECTIVAS DEL SISTEMA.....	3-53
III.2.6 TARIFAS.....	3-53
III.2.7 ESTADO ACTUAL.....	3-53
III.3 ELLIPSO.....	3-54
III.3.1 DESCRIPCIÓN.....	3-54
III.3.2 CONSTELACIÓN SATELITAL.....	3-55
III.3.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL SATÉLITE.....	3-55
III.3.2.2 ÓRBITA.....	3-55
III.3.2.3 COBERTURA.....	3-56
III.3.3 TERMINALES.....	3-56
III.3.4 CARACTERÍSTICAS DE LA SEÑAL DE ENLACE.....	3-57
III.3.5 PERSPECTIVAS DEL SISTEMA.....	3-58
III.3.6 TARIFAS.....	3-58
III.4 GLOBALSTAR.....	3-58
III.4.1 DESCRIPCIÓN.....	3-58
III.4.2 CONSTELACIÓN SATELITAL.....	3-59
III.4.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL SATÉLITE.....	3-59
III.4.2.2 ÓRBITA.....	3-60
III.4.2.3 COBERTURA.....	3-60
III.4.3 TERMINALES.....	3-61
III.4.4 CARACTERÍSTICAS DE LA SEÑAL DE ENLACE.....	3-62
III.4.5 PERSPECTIVAS DEL SISTEMA.....	3-63

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

III.4.6 TARIFAS.....	3-63
III.5 ICO.....	3-63
III.5.1 DESCRIPCIÓN.....	3-63
III.5.2 CONSTELACIÓN SATELITAL.....	3-64
III.5.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL SATÉLITE.....	3-64
III.5.2.2 ÓRBITA.....	3-64
III.5.2.3 COBERTURA.....	3-64
III.5.3 TERMINALES.....	3-66
III.5.4 CARACTERÍSTICAS DE LA SEÑAL DE ENLACE.....	3-67
III.5.5 PERSPECTIVAS DEL SISTEMA.....	3-68
III.5.6 TARIFAS.....	3-68
III.6 GPS.....	3-68
III.6.1 DESCRIPCIÓN.....	3-68
III.6.2 CONSTELACIÓN SATELITAL.....	3-69
III.6.3 CARACTERÍSTICAS DEL GPS.....	3-70
III.6.4 TERMINALES.....	3-70
III.6.5 PERSPECTIVAS DEL SISTEMA.....	3-71
III.7 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS SATÉLITES DE ÓRBITA NO GEOESTACIONARIA.....	3-73
III.7.2 ÓRBITAS.....	3-74
III.7.3 FRECUENCIAS Y OTROS.....	3-75
III.8 INMARSAT.....	3-75
III.8.1 DESCRIPCIÓN.....	3-75
III.8.2 SERVICIOS.....	3-76
III.8.3 CONSTELACIÓN SATELITAL.....	3-77
III.8.3.1 CARACTERÍSTICAS DEL SATÉLITE.....	3-77
III.8.3.2 ÓRBITA.....	3-77
III.8.3.3 COBERTURA.....	3-77
III.8.4 TERMINALES.....	3-78
III.8.5 CARACTERÍSTICAS DE LA SEÑAL DE ENLACE.....	3-79
III.8.6 PERSPECTIVAS DEL SISTEMA.....	3-79
III.8.7 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS INMARSAT.....	3-80
 Capítulo 4 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN MÓVIL TERRESTRE.....	 4-81
IV. 1 CLASIFICACIÓN DE SISTEMAS DE RADIO COMUNICACIÓN MÓVIL.....	4-81
IV. 2 RADIOTELEFONÍA CELULAR.....	4-82
CELULAR.....	4-82
IV. 2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA TELEFONÍA CELULAR.....	4-83
IV. 2.2 REUSO DE FRECUENCIAS.....	4-84
IV. 2.3 TRANSFERENCIA DE LLAMADA.....	4-85
IV. 2.4 UTILIZACIÓN DEL ESPECTRO EN SISTEMAS CELULARES.....	4-86
IV. 3 SISTEMAS DE RADIOBÚSQUEDA (RADIO-PAGING).....	4-87
IV. 3.1 ANTECEDENTES.....	4-87
IV. 3.2 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE UN SISTEMA DE RADIO BÚSQUEDA.....	4-89
IV. 3.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE EXPLOTACIÓN.....	4-89

**TESIS CON
FALLA DE CUBIERTEN**

IV. 3.2.2 CARACTERÍSTICAS DEL CENTRO DE CONTROL	4-89
IV. 3.2.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS RECEPTORES	4-89
IV. 3.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	4-89
IV. 4 SISTEMAS DE COMPARTICIÓN DE RECURSOS (TRUNKING)	4-91
IV. 4.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	4-91
IV. 5. SERVICIOS DE COMUNICACIÓN MÓVIL EN MÉXICO	4-93
IV. 5.1 SERVICIOS DE TELEFONÍA CELULAR	4-93
IV. 5.1.1 TELCEL	4-93
IV. 5.1.2 IUSACELL	4-94
IV. 5.1.3 PEGASO Y UNEFÓN	4-97
IV. 5.1.4 ANÁLISIS GENERAL DE LAS PRINCIPALES COMPAÑÍAS	4-98
IV. 5.1.4.1 VENTAJAS DE LA TELEFONÍA DIGITAL	4-98
IV. 5.1.4.2 TARIFAS	4-98
IV. 5.1.4.3 COBERTURA	4-99
IV. 5.1.5 SERVICIOS DE COMUNICACIÓN ESPECIAL	4-99
IV. 5.1.5.1 NEXTEL	4-100
IV. 5.1.5.2 GLOBALSTAR	4-100
IV. 5.1.5.3 COBERTURA	4-100
IV. 5.2 SERVICIOS DE RADIOBÚSQUEDA (PAGING)	4-100
IV. 5.2.1 BIPER	4-102
IV. 5.2.2 DIGITEL	4-103
IV. 5.2.3 SKY TEL	4-105
IV. 5.3. MOVISAT	4-108
MOVISAT DATOS	4-110
CARACTERÍSTICAS Y SERVICIOS	4-111
MOVISAT VOZ	4-111
CARACTERÍSTICAS Y SERVICIOS	4-111
 Capítulo 5 ESPECTRO RADIOELÉCTRICO Y NORMALIZACIÓN	 5-113
V. 1 ESPECTRO RADIOELÉCTRICO	5-113
V. 2 NORMALIZACIÓN DE LAS TELECOMUNICACIONES	5-116
V. 2.1 LA UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES	5-117
V. 2.1.1 REGLAMENTO DE RADIOCOMUNICACIONES (RR)	5-119
V. 2.2 NORMALIZACIÓN DE LAS TELECOMUNICACIONES EN MÉXICO	5-134
 Capítulo 6 FRECUENCIAS PARA ENLACES SATELITALES EN MÉXICO	 6-137
VI. 1 INTRODUCCIÓN	6-137
CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LAS TELECOMUNICACIONES DE LOS SISTEMAS MÓVILES SATELITALES	6-137
VI. 2 DISEÑO DE ENLACE PARA UNA COMUNICACIÓN	6-138
VI. 2.1 TIPO DE ENLACE	6-140
VI. 2.2 LOCALIDADES A ENLAZAR	6-140
VI. 2.3 SERVICIO A CURSAR	6-140

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

VI. 2.4 TIPO DE MODULACIÓN	6-140
VI. 2.5 PÉRDIDAS	6-141
VI. 2.5.1 LA INFLUENCIA DE LA LLUVIA.....	6-141
VI. 2.5.2 EFECTOS DEL HIELO	6-141
VI. 2.5.3 EFECTOS DE PROPAGACIÓN	6-141
VI. 2.5.4 OTROS EFECTOS.....	6-142
VI. 3 SISTEMA DE SATÉLITES SOLIDARIDAD.....	6-143
VI. 3.1 POSICIÓN ORBITAL.....	6-144
VI. 3.2 COBERTURAS.....	6-144
BANDA C.....	6-145
BANDA L.....	6-145
BANDA KU.....	6-146
VI. 4 CÁLCULO DE ENLACE MÓVIL SATELITAL PARA EL SATÉLITE SOLIDARIDAD.....	6-146
CONCLUSIONES.....	7-175
BIBLIOGRAFIA	8-177

PRÓLOGO

Durante la última década del siglo xx las comunicaciones inalámbricas comienzan a desplegarse en todo el mundo gracias a los adelantos tecnológicos, se vive la globalización y es necesario optimizar los servicios de comunicación existentes y/o complementar los servicios de comunicación fijos terrestres (alámbricos), para estar no a la vanguardia, sino simple y sencillamente dentro del juego financiero mundial.

En la misma década, existen diferentes tipos de comunicación y los grandes países del mundo observan no sólo al espacio como objeto de exploración, sino también como medio para explotación de un medio de comunicación inalámbrica. En esta época, se vive y se tiene ya comunicación fija y móvil con satélites geoestacionarios para fines gubernamentales, pero empieza un gran despliegado comercial. ¿Por qué no explotar económicamente la tecnología espacial?

Surgen los llamados sistemas LEO's, Sistemas de Óbita Baja, los cuales está planeados para dominar el mundo de las comunicaciones móviles satelitales, sin embargo se pasan bajo la sombra no sólo por el mejoramiento de las comunicaciones alámbricas con la fibra óptica, sino también por el desarrollo en crecimiento de los sistemas inalámbricos de microondas. No mueren unas tecnologías por crearse otras, el gran éxito lo obtendrán aquellos que logren coordinar y optimizar todos los tipos existentes.

Peró eso no es todo, también surgen otros inconvenientes, poco a poco las múltiples formas y medios de comunicación comienzan a elevar y ocupar nuevas frecuencias en el Espectro Electromagnético y la única limitante es por ahora el costo de la tecnología para poder transmitir en extremadas altas frecuencias, por lo que las frecuencias óptimas para la comunicación móvil satelital se ven saturadas.

El punto importante de esta Tesis es estudiar los puntos clave de una comunicación satelital móvil, en especial la Banda L y determinar para que uso debe delimitarse debido a que por las características de los nuevos sistemas de comunicación 2.5G y 3G las comunicaciones móviles necesitan más ancho de banda de lo que la Banda L puede dar, COMERCIALMENTE hablando. No hay que olvidar que vivimos una época en que la economía y la comercialización mueven absolutamente todo y se olvidan los usos que deberían ser correctos, fines comunes y beneficiosos para la sociedad.

CAPÍTULO 1 LAS TELECOMUNICACIONES.

I. 1 INTRODUCCIÓN.

La necesidad de establecer comunicación entre dos o más puntos, independientemente de las condiciones geográficas, ambientales, culturales y económicas, teniendo objetivos tan diversos como entretenimiento, educación, información, pero principalmente comerciales, ha marcado la pauta para la investigación, desarrollo e implantación de distintos sistemas de comunicación electrónicos cada vez más complejos y eficientes.

El diagrama de bloques básico de una comunicación a distancia o telecomunicación, se puede plasmar como en la Figura I.1:

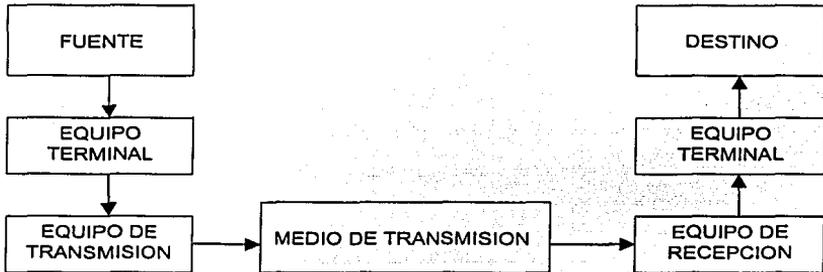


Figura I.1
Diagrama básico de bloques de un sistema de Telecomunicación.

La información es generada y/o recibida en equipos terminales, dependiendo de la naturaleza de la información, localización relativa y características propias de las áreas geográficas a comunicar, se utiliza uno o más sistemas de telecomunicación, los cuales se encargan de transportar la información de manera rápida, segura y económica hasta el equipo terminal y destino.

Un sistema de telecomunicación, está compuesto por equipo transmisor / receptor y por el medio de comunicación que enlaza una fuente con un destino. Las características de estos elementos dependen de la naturaleza de la tecnología utilizada.

El canal de comunicaciones es el recorrido físico que es necesario establecer para que una señal eléctrica, óptica o electro-óptica, se pueda desplazar entre dos puntos (uno llamado fuente y otro colector). Existen otras denominaciones tales como: línea, enlace, facilidad, etc.

Los canales pueden ser analógicos o digitales. Tanto los canales analógicos pueden llevar señales digitales previamente moduladas, como los canales digitales pueden llevar señales analógicas previamente digitalizadas.

Los distintos tipos de transmisión de un canal de comunicaciones pueden ser de tres clases diferentes:

- Simplex.
- Semidúplex.
- Dúplex (o dúplex completo).

Método simplex.

Es aquel en que una estación siempre actúa como fuente y la otra siempre como colector. Este método permite la transmisión de información en un único sentido. Un ejemplo de servicio simplex es el que brindan las agencias de noticias a sus asociados.

Método semidúplex.

Es aquel en que una estación A en un momento de tiempo, actúa como fuente y otra estación correspondiente B actúa como colector; y en el momento siguiente, la estación B actuará como fuente y la A como colector. Este método permite la transmisión en las dos direcciones, aunque en momentos diferentes. Por ejemplo, la conversación entre dos radioaficionados que están dialogando, pero donde uno espera que el otro termine de hablar para continuar el diálogo; nunca pueden ambos hablar simultáneamente.

Método dúplex.

Es aquel en que dos estaciones A y B, actúan como fuente y colector, transmitiendo y recibiendo información simultáneamente. Este método permite la transmisión en las dos direcciones, en forma simultánea. Por ejemplo, la conversación telefónica entre dos personas que no se escuchan y pretenden hablar simultáneamente.

1. 2 MEDIOS DE TELECOMUNICACIÓN.

Los equipos terminales envían la información por dos tipos de medios de transmisión: guiados y no guiados, como se detalla en la Tabla I.1.

Medios Guiados	Medios No guiados
Par de cobre.	Celulares.
Cable coaxial.	Radiodifusión.
Fibra óptica.	Microondas.

Tabla I.1
Medios de Telecomunicación

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En la actualidad, es necesaria la interconexión de los diferentes sistemas de comunicación utilizando las facilidades que cada uno de estos sistemas brindan, mejorando la capacidad y calidad de los servicios.

I. 2.1 MEDIOS GUIADOS.

Este tipo de medios utiliza un medio físico como vía de propagación. La principal característica de estos medios es la de brindar servicios de comunicación fija a distancia.

I. 2.1.1 PAR DE COBRE.

El cable de par de cobre o también conocido como par trenzado cuenta con dos versiones que son:

El par trenzado sin blindar UTP (Unshielded Twisted Pair) es similar al cable usado por las compañías telefónicas en los últimos kilómetros de sus comunicaciones. Este tipo de cable está graduado de acuerdo a su habilidad para transportar información, y se clasifica en niveles definidos del 1 al 5.

El par trenzado blindado STP (Shielded Twisted Pair), usado principalmente en redes de computadoras locales y en aplicaciones donde se requiera mas calidad que la ofrecida por el UTP o bien opere en ambientes con mayor nivel de ruido. La tabla I.2 muestra la jerarquía de las categorías de par trenzado.

Categoría	Velocidad	Aplicaciones
1	< 1 Mbps	No se ajusta a ningún criterio
2	1 Mbps	Cableado telefónico típico
3	16 Mbps	Cableado estructurado para LAN's
4	20 Mbps	Cableado estructurado para LAN's
5	100 Mbps	Cableado estructurado para LAN's

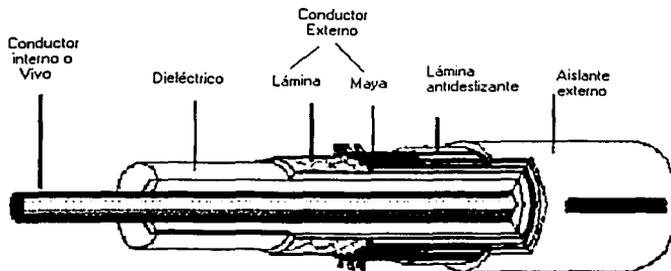
Tabla I.2
Categorías de par trenzado

I. 2.1.2 CABLE COAXIAL.

Es un cable, que consta de dos conductores concéntricos separados por un dieléctrico, la información es conducida en el conductor central, mientras que en el externo es usado como blindaje contra el ruido. (Figura I.2)

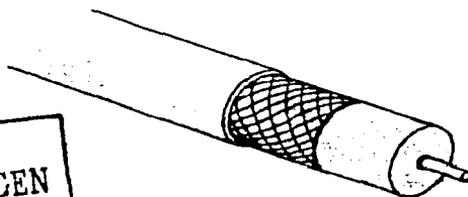
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La principal aplicación en sistemas de telecomunicaciones es en centrales telefónicas, equipo electrónico y en cableado estructurado para redes de área local, de aquí que exista cable coaxial de banda base y banda ancha, su principal diferencia se basa en su habilidad de transportar información y atenuación asociada. En la actualidad este tipo de medio está desplazando al par de cobre debido a la flexibilidad en la estructuración de las redes.



Detalle del corte del cable coaxial

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Cable Coaxial
Figura 1.2

I. 2.1.3 FIBRA ÓPTICA.

Una fibra óptica es una guía de onda de material dieléctrico y generalmente su forma es cilíndrica, esencialmente consta de un núcleo con cierto índice de refracción mayor que el de su cubierta básica. Ésta, confina la energía electromagnética en forma de luz guiándola en una dirección paralela a su eje. Las propiedades de transmisión de una guía de onda óptica son determinadas por sus características estructurales.

I. 2.1.3.1 TIPOS DE FIBRAS ÓPTICAS.

En lo fundamental se emplean cuatro tipos de fibras ópticas en los sistemas de telecomunicaciones; por orden de aparición son: Multimodo de índice escalonado o abrupto; multimodo de índice gradual; monomodo de índice abrupto; monomodo de índice fraccional.

Las fibras ópticas multimodo de índice escalonado, son aquellas que tienen el índice de refracción a lo largo del núcleo constante y cambia abruptamente en la frontera núcleo-cubierta óptica. En estas fibras la propagación de la luz tiene diferentes modos. (Figura 1.3)

En principio todos los rayos cuyo ángulo de incidencia (θ_i) quede entre un ángulo crítico y 90° serán atrapados dentro de la fibra. Pero no todas estas ondas se propagarán a lo largo de la fibra óptica, sino que sólo ciertas direcciones de los rayos son permitidas, las cuales corresponden a los modos de la fibra óptica. Los modos de las fibras ópticas están relacionados a los modos de las cavidades resonantes y su determinación se puede hacer resolviendo las ecuaciones de Maxwell en la frontera núcleo-cubierta óptica. Los patrones estables de interferencia se obtienen cuando el desfaseamiento de una trayectoria completa entre las fronteras es igual a un múltiplo entero de 2π .

Los rayos cuyos ángulos de incidencia son cercanos al ángulo crítico se denominan modos de alto orden. Los rayos cuyos ángulos de incidencia son cercanos a 90° se denominan de bajo orden. Una representación de los diferentes modos, en los cuales las ondas luminosas viajan a lo largo de la fibra óptica se muestra en la siguiente figura.

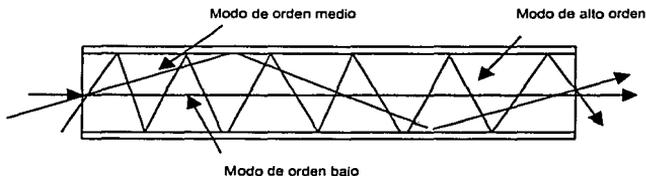


Figura 1.3
Propagación de los diferentes modos en una fibra óptica, multimodo de índice abrupto.

Los diferentes modos viajan de un extremo a otro con la misma velocidad pero llegan al extremo opuesto en diferentes tiempos, ya que viajan diferentes distancias. Si la luz incidente tiene forma de pulso, éste se presentará disperso en el otro extremo de la fibra. Este tipo de dispersión del pulso de la luz se denomina dispersión multimodal, y limita la máxima velocidad de transmisión. La dispersión de los pulsos está en función de la longitud de la fibra (Figura 1.4), por lo tanto la máxima velocidad de transmisión en una fibra multimodo de índice abrupto, está en función de la longitud del enlace.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Figura 1.4
Dispersión de los pulsos durante la transmisión.

En la fibra multimodo de índice gradual, puesto que el índice de refracción es una medida de la disminución de la velocidad de la luz que viaja en el medio, se puede hacer un núcleo cuyo índice disminuya conforme se le acerque a la cubierta óptica, de tal manera que la velocidad de los rayos de luz crezca, conforme a los rayos se alejan del centro. De esta manera se puede lograr que los rayos de modos altos lleguen al mismo tiempo que los rayos de modos bajos en el otro extremo de la fibra óptica, resultando en una disminución de la dispersión multimodal. Una representación de la propagación y del perfil del índice de refracción para fibras multimodo de índice gradual se muestra en la Figura 1.5:

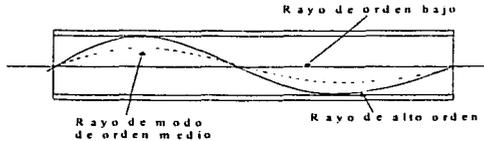


Figura 1.5
Propagación a lo largo de una fibra multimodo de índice gradual.

Otra forma de reducir la dispersión multimodal es permitiendo que se propague un solo modo. Esto se logra reduciendo el diámetro del núcleo y eligiendo la relación de índices de refracción del núcleo y de la cobertura óptica. A este tipo de fibras se denomina fibras ópticas monomodo. Una representación de la propagación de la luz a través de una fibra óptica monomodo se muestra en la Figura 1.6:

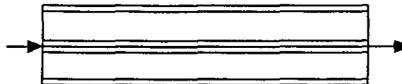


Figura 1.6
Propagación a lo largo de una fibra óptica monomodo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En las fibras multimodo de índice gradual se ha reducido la dispersión multimodal con respecto a la dispersión sufrida por el pulso de luz cuando se propaga a lo largo de la fibra óptica de índice abrupto, por lo tanto, si se tiene un enlace de una determinada longitud, las fibras de índice gradual pueden llevar información de mayor velocidad que las fibras multimodo de índice abrupto.

En las fibras monomodo, la dispersión multimodal se ha reducido a cero, ya que sólo se propaga un solo modo, y es por este motivo que las fibras ópticas monomodo pueden transmitir simultáneamente mayores volúmenes de información, en comparación de las fibras ópticas multimodo. Una representación cualitativa que permite ilustrar comparativamente la dispersión de los pulsos de luz propagados a través de fibras ópticas multimodo y monomodo se muestra en la Figura 1.7:

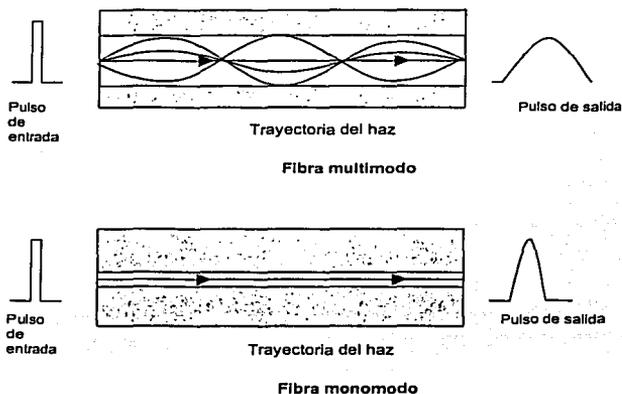


Figura 1.7
Ilustración de la dispersión de un pulso de luz cuando se propaga por una fibra monomodo y una multimodo.

Una de las principales características de la fibra óptica es su baja atenuación. Las primeras fibras ópticas se utilizaban en el rango de 800 a 900 nm debido a que en esta región del espectro presentaban la menor atenuación, con el mejoramiento de la calidad de las fibras, se utilizan longitudes de onda alrededor de 1550 nm.

La estructura más usada consiste de un cilindro dieléctrico sólido conocido como núcleo o CORE, el cual está cubierto por un dieléctrico sólido denominado CLADDING teniendo un índice de refracción menor al del CORE. El CLADDING reduce las pérdidas por esparcimiento resultado de las discontinuidades de la superficie del CORE, además

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

proporciona resistencia mecánica a la fibra, protege al CORE de contaminantes externos con los que pudiese entrar en contacto.

La fibra óptica tiene como principales ventajas con respecto a las otras tecnologías alámbricas, su alta capacidad de manejo de información, bajas pérdidas por propagación (0.25 dB/km. típico), inmune al ruido electromagnético y requiere repetidores a distancias más grandes en comparación a las líneas coaxiales, entre otras más.

Los componentes de este sistema son:

Transmisor: Consiste de un transductor optoelectrónico, un convertor de voltaje a corriente, una fuente de luz y un adaptador de fuente de luz a fibra.

Cable: Los cables contienen varias fibras ópticas cilíndricas hechas de vidrio transparente del grueso de un cabello, cada una de las cuales es un canal de comunicación independiente. El cable ofrece protección mecánica y ambiental a las fibras ópticas contenidas en su interior. La estructura del cable puede contener líneas de cobre para la alimentación de los repetidores.

Receptor: Consiste de un dispositivo fotodetector, un convertor de corriente a voltaje y un amplificador de voltaje.

Componentes ópticos adicionales: incluyen conectores, acopladores, divisores de haz, así como repetidores.

En la siguiente figura se muestra el diagrama de bloques de un sistema de transmisión de fibra óptica.

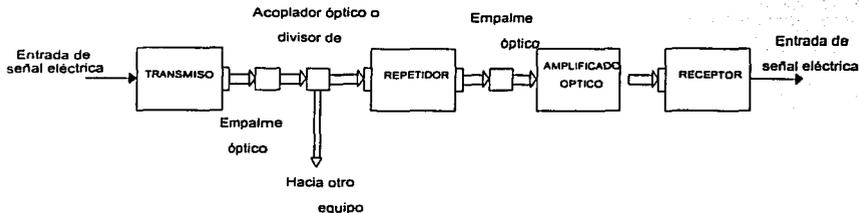


Figura 1.8
Diagrama de bloques de un sistema de transmisión de fibra óptica.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

I. 2.1.3.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS FIBRAS ÓPTICAS.

Las características y ventajas más importantes de las fibras ópticas se señalan en la Tabla I.3:

Características	Ventajas
Eliminación de las Interferencias Electromagnéticas.	<ul style="list-style-type: none"> • Seguridad de alta calidad de transmisión. • Reducción de costos de protección contra el ruido. • Localización cercana a líneas de alta tensión.
Aislamiento Eléctrico.	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminación de los problemas de bucle de tierra. • Travesía segura en zonas peligrosas. • Seguridad contra descargas eléctricas.
Pérdidas pequeñas.	<ul style="list-style-type: none"> • Espaciamiento grande entre repetidoras. • Confiabilidad grande gracias al número pequeño de repetidoras. • Menor mantenimiento.
Ancho de banda grande.	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad grande de transmisión. • Eliminación de igualadores. • Atenuación independiente del ancho de banda del mensaje transmitido.
Diámetro y peso pequeños	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de los costos de instalación y reparación.
Estabilidad en medios severos.	<ul style="list-style-type: none"> • Confiabilidad alta de la transmisión. • Reducción de la protección contra el medio ambiente.

Tabla I.3

Además tiene otras características adicionales:

1. Alta privacidad de la transmisión.
2. Sensibilidad limitada por el ruido cuántico.
3. Niveles pequeños de potencia eléctrica en el transmisor.
4. Se facilita la movilidad e instalación en áreas reducidas (gracias a su peso y dimensiones menores comparadas con el peso y dimensiones de los conductores eléctricos).
5. Cableado de muchas fibras en un solo ducto.
6. Mayor economía para enlaces mayores de 2 km. y velocidades mayores a 2 MB/s.

Desventajas o limitaciones:

1. Como en el caso de los enlaces por cable eléctrico se requiere de un medio físico.
2. Movilidad reducida en comparación con los sistemas de radiocomunicación.
3. Mayor dificultad en comunicaciones multipunto: las derivaciones pasivas introducen grandes niveles de atenuación (idealmente 3 dB, para derivaciones 1:1)
4. Las fuentes ópticas son relativamente de alta no-linealidad.
5. Alto costo económico.

I. 2.2 MEDIOS NO GUIADOS.

Estos sistemas utilizan el espacio libre como medio de propagación, auxiliándose de antenas directivas u omnidireccionales. Una de las características de éstos sistemas es la facilidad de brindar servicios de comunicación móvil.

I. 2.2.1 RADIOENLACES.

Los radioenlaces son sistemas que emplean enlaces entre antenas con líneas de vista, situadas a una distancia de varios kilómetros. Se utilizan dos tipos de esquemas de operación, punto a punto y punto multipunto, en el primer esquema se utilizan antenas direccionables y en el segundo un conjunto de antenas que cubren una área específica.

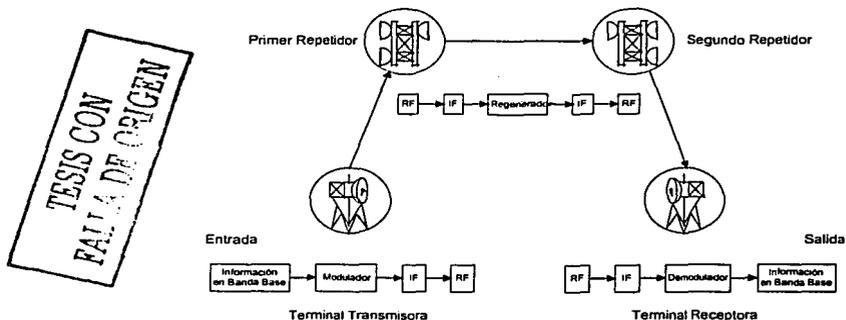


Figura I.9
Diagrama de bloques de un esquema de transmisión de microondas punto a punto.

I. 2.2.2 RADIO MICROONDAS.

Existen muchos tipos diferentes de sistemas de microondas que operan sobre distancias que varían, desde cientos de metros hasta varios kilómetros de longitud. Los sistemas de servicio interestatal o servicio de alimentador, por lo general se consideran dentro de la categoría de corto alcance porque se utilizan para distancias relativamente cortas. Los sistemas de radio de largo alcance son aquellos que se utilizan para distancias relativamente

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

largas como para aplicaciones interestatales. La capacidad de los sistemas de microondas varia, desde menos de 12 canales de banda de voz hasta más de 22,000. Los primeros sistemas de microondas transportaban circuitos de banda de voz multicanalizadas por división de frecuencia y utilizaban técnicas convencionales de modulación de frecuencias no coherente. Los sistemas de microondas desarrollados más recientemente llevan circuitos de banda de voz con multicanalización por división de tiempo modulados con códigos de pulsos y utilizan técnicas de modulación digital más modernas, como la modulación por desplazamiento de fase y la modulación de amplitud en cuadratura.

Convencionalmente los sistemas de microondas utilizan frecuencia modulada y multicanalización por división de frecuencia. La modulación en frecuencia (FM) se utiliza en lugar de la modulación en amplitud (AM), porque las señales de modulación en amplitud son más sensibles a procesos no lineales de la amplitud, inherentes en amplificadores de microondas de banda ancha. Las señales de frecuencia modulada son relativamente insensibles a este tipo de distorsión no lineal y pueden ser transmitidas a través de amplificadores que tienen compresión. Además las señales FM son menos sensibles al ruido aleatorio y se pueden propagar con menos potencia de transmisión. Un diagrama de bloques de un esquema de transmisión de microondas punto a punto se muestra en la Figura 1.9.

I. 3 HISTORIA DEL DESARROLLO DE LAS COMUNICACIONES POR SATÉLITE.

La onda radioeléctrica espacial denominada ruido cósmico llega constantemente de los cuerpos celestes hacia la Tierra. Este ruido tiene gran influencia sobre un objeto del diseño para una antena grande o sobre un origen de onda radioeléctrica para calibrar, como se explica más adelante.

K. G. Jansky, del laboratorio Bell de los E.U., fue la primera persona que midió el ruido cósmico mediante una antena direccional de onda corta y de esta manera, empezó el estudio de la astronomía de onda radioeléctrica.

El Sol es también una fuente importante de ruido, convirtiéndose en una importante fuente de ruido a la comunicación por satélite. Aparte de estas ondas radioeléctricas naturales, después de la Segunda Guerra Mundial, en 1946, se descubrió por primera vez el eco de la Luna, al aplicar la técnica del radar que se había desarrollado durante la Guerra. Gracias a las observaciones continuas se aclararon propiedades de la onda radioeléctrica de la superficie de la Luna y, en 1957 se experimentó la recepción de la onda de telefonía reflejada en la superficie de la Luna.

Además, se hicieron experimentos para comunicación internacional por medio de la transmisión mediante reflexión en la luna entre Inglaterra y los EE.UU., en Mayo de 1959, y en Junio del mismo año entre los EE.UU. y Canadá. Suponiendo que aún esos experimentos tuvieron valor como investigación científica, no tuvieron la aplicación para la comunicación debido a la poca densidad de la señal recibida, la distorsión de la trayectoria múltiple, los retardos en la transmisión, y la limitación del tiempo de visibilidad común de la Luna.

En 1957, el Sputnik 1, lanzado por la ex URSS inauguró la era espacial al constituirse como el primer lanzamiento de satélite artificial, en este periodo inicial, se llevaron a cabo muchos experimentos, algunos de los de mayor importancia son los aquí referidos:

La primera transmisión de voz se realizó, en diciembre de 1959, por la fuerza aérea de los EE.UU., mediante la grabación transmitida con la onda radioeléctrica de VHF, a través del satélite SCORE de órbita baja.

Además, la NASA de los EE.UU. lanzó el primer satélite meteorológico, TAIROS 1 (1960) en órbita circular a una altura aproximadamente de 70 km. Con 48.3 grados de inclinación y 99.2 minutos de periodo, en Abril de 1960, envió fotografías meteorológicas, la información enviada acumuló 22.952 hojas durante dos meses.

La NASA, en Agosto de 1960, lanzó el satélite ECHO 1, cuya forma de globo de 30 metros de diámetro cubierto de nylon con lámina de aluminio, en una órbita circular de una altura de cerca de 1.600 km, 47.2 grados de inclinación.

Bajo la cooperación de la NASA, Laboratorios Bell y el Laboratorio " Jet Propulsión", de Pasadena, se logró la transmisión de señales de telefonía y de televisión gracias al sistema FM en banda de radio frecuencia de 1 GHz y 2.5 GHz mediante esas transmisiones se investigaron las propiedades de la propagación en esas frecuencias. Este era el primer experimento del mundo de la recepción pasiva mediante el uso de un satélite artificial que utilizó la amplificación.

En Mayo de 1963, el MIT (Massachusetts Institute of Technology) de los EE.UU., bajo el proyecto West Ford experimentó la comunicación mediante una onda dispersa del satélite dipolo. En Octubre de 1960, el ejército de los EE.UU. lanzó un satélite COURIER 1 B (1960) cuya órbita se ubica una altura de cerca de 1.000 km. y 28.3 grados de inclinación. Esta estación espacial grababa la información recibida desde una estación terrena, utilizando para esta una cinta magnética de alta velocidad y posteriormente al acercarse a la estación terrena de destino transmitía la información empleando la banda de radiofrecuencia de 2 GHz. Se considera que fue el primer experimento de relevo activo aplicando un amplificador.

El laboratorio de telefonía Bell de AT&T en los EE.UU. lanzó el satélite TELSTAR 1, en Junio de 1962, y la NASA lanzó un satélite RELAY 1 (1962), en Diciembre del mismo año; de esta manera, se iniciaron experimentos del uso actual del satélite para la comunicación en escala mundial junto con la preparación de una estación terrena, las bandas de radiofrecuencia a utilizar fueron de 4 GHz y 6 GHz.

El satélite TELSTAR habilitó servicios de transmisión de televisión y de telefonía múltiple por sistema de FM de banda ancha entre Andover (en los EE.UU.) Goonhilly Down (en Inglaterra), y también entre estas estaciones y la Pleumeur (en Francia) consiguiendo buenos resultados técnicos.

Debemos observar que gracias a estas experiencias se ha obtenido un modelo típico de la estación terrena para la comunicación mundial. Sin embargo, ambos satélites TELSTAR y RELAY tenían el defecto en el tiempo disponible para comunicaciones, este era corto y ese

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

tiempo debido a su órbita experimentaban cambios según los periodos de circulación, ya que ambos satélites están ubicados en la denominada órbita baja.

La posibilidad de realización de la comunicación mundial por satélite se desarrolló rápidamente debido al éxito en el lanzamiento del satélite SYNCOM 2, sincrónico de la NASA, en Junio de 1963.

Después se realizó el lanzamiento de un nuevo satélite geostacionario SYNCOM 3, lanzado en Agosto de 1963, mismo que fue utilizado en la transmisión de televisión en las olimpiadas de Tokio y se lograron mejores resultados gracias a medidas, tal como ahorro de banda por el método de señal sincrónica positiva.

Con relación a la comunicación por satélite, lo que se describió aquí fue la época experimental. Finalmente, en Agosto de 1964, se estableció el consorcio de INTELSAT para llevar a cabo la comunicación comercial vía satélite en el mundo. Posteriormente, se inició la época práctica de la comunicación por satélite desde que se lanzó el Eryl Bird, primer geostacionario, semixperimental y semicomercial el día 6 de 1965.

Consecutivamente, la NASA lanzó una serie de satélites de aplicaciones, los satélites ATS, en 1966, con lo que inició un nuevo estudio experimental: también aquí se desarrollaron programas sobre la utilidad de las ondas milimétricas y se desarrolló un sistema nuevo en comunicación.

Los E.U., han desempeñado un rol importante desde el inicio de la carrera espacial en cuanto se refiere el campo de la comunicación por satélite, pero la ex Unión Soviética también lanzó en mayo de 1965 su primer satélite de comunicación (MOLNIYA I) en una órbita elíptica de 39,152 km. de altura de apogeo con 65° de ángulo inclinado, con 11 horas y 38 minutos de periodo, con esto se empezó la comunicación por recepción como la transmisión de televisión, colocando 25 estaciones terrenas pequeñas sobre su territorio.

Además la ex Unión Soviética llevó a cabo la comunicación de servicio espacial y la transmisión de televisión desde la estación espacial en el caso del vuelo en grupo de dos satélites tripulados: VOSTOK 3 y VOSTOK 4.

México se inicia en las comunicaciones espaciales en 1968, con la puesta en operación de la Estación Terrena de Tulancingo, Hidalgo y desde 1981 estableció un sistema doméstico con capacidad arrendada a INTELSAT por medio de un satélite colocado ex profeso en la posición de 53° W. En 1985, con la puesta en operación del Sistema de Satélites Morelos, los beneficios de las comunicaciones espaciales, se hicieron tangibles para la mayoría de los mexicanos.

En 1986 el satélite Morelos I inicia operaciones con las redes estatales y privadas de televisión y la red de telefonía de PEMEX, que ya se transmitía a través de INTELSAT, pero se cancela ese mismo año. A finales de 1986, el sistema de satélites era una infraestructura costosa y no utilizada; esto motivó que en 1987 se hicieran propuestas para implementar cambios normativos que modificaran esta situación, específicamente la adecuación en el reglamento relativo al artículo II de la Ley de Vías, reforma que permitía al usuario el no ceder la propiedad de la estación terrena, siempre y cuando utilizaran satélites nacionales.

Así, el uso de los satélites se vió incrementado, principalmente en la banda Ku. Este fue el punto de partida que dió origen al crecimiento de aplicaciones satelitales en la forma de redes privadas.

A finales de 1989, la banda Ku estaba prácticamente saturada, lo que motivó a buscar diversas alternativas, desde la promoción del uso de la banda C (para transmisión de televisión y telefonía troncal), hasta el análisis de alternativas para la compra o uso de satélites alternos.

En febrero de 1990, se distribuyen las especificaciones preliminares del nuevo sistema de satélite, que consistían en contar, además de la banda C y Ku, con la banda L para comunicaciones móviles.

En diciembre de este mismo año, se publica la convocatoria a empresas contratistas especializadas en la construcción de satélites comerciales de telecomunicaciones para adquirir las bases de licitación del sistema de Satélites Solidaridad. Las bases fueron adquiridas por las empresas General Electric, Hughes Communications International Inc. , Matra Space y Alcatel.

El proceso de análisis y evaluación de las ofertas se contó con la asesoría de consultores externos, tales como Satel Conseil de Francia, Telesat de Canadá y Comsat de USA.

El 19 de marzo de 1991, la SCT por conducto de TELECOMM, emitió el fallo de adjudicación que favoreció a la empresa Hughes.

El 27 de mayo de este año, se dió a conocer la convocatoria para la prestación de los servicios de lanzamiento de los satélites Solidaridad. Las bases de licitación fueron adquiridas por las empresas Arianspace de Europa, General Dynamics Commercial Launch Services de USA y Great Wall Industry Corp de China. El 19 de julio se emitió el fallo, favoreció a la empresa Arianspace.

A partir de la firma de los contratos, se llevaron a cabo reuniones de coordinación satelital con USA, Canadá, Inmarsat y la Ex-Unión soviética, con la finalidad de evitar interferencias entre los sistemas.

Los satélites Solidaridad, son la segunda generación de satélites mexicanos compuesto por dos satélites híbridos casi idénticos, triaxialmente estabilizados que operan en las bandas de frecuencia L, C y Ku. El sistema Solidaridad consiste en satélites de comunicaciones de cobertura regional, que proporcionan servicio a regiones muy grandes. Estos satélites tienen una vida útil estimada de 14 años.

En octubre de 1997, Telefónica Autrey y su socio Loral Space and Communications ganaron la licitación a la que convocó el Gobierno Federal para la adquisición del 75% de las acciones de Satélites Mexicanos S.A. de C.V. (Satmex), empresa que ya daba servicios satelitales de transmisión de señales de televisión, radio, voz y datos para redes de compañías públicas y privadas transmisoras de televisión y de telecomunicaciones.

El Gobierno Federal guardó para sí, el control de operaciones de la banda L.

A finales de 1998 fue lanzado el satélite SATMEX 5, que sustituye al satélite Morelos II, él sólo cuenta con transpondedores en banda C y banda Ku. Un transpondedor es un repetidor de microondas cuya función es recibir las señales enviadas desde Tierra, convertirlas a otra frecuencia y retransmitirlas a Tierra.

Hoy en día casi todos los países del mundo cuentan con sistemas vía satélite propios o rentan capacidad a grandes consorcios multinacionales como Intelsat, el cual está integrado por 125 países miembros, posee y explota el sistema mundial de telecomunicaciones por satélite, empleado por 180 países miembros y no miembros para comunicaciones internacionales y domésticas.

En la actualidad se encuentran en órbita geoestacionaria 337 satélites de comunicaciones aproximadamente, entre los que se encuentran el sistema de satélites mexicanos, formado por los satélites SATMEX V, Solidaridad I y II.

I. 3.1 GENERACIONES DE SATÉLITES.

Los sistemas de comunicación por satélite, han tenido una vida relativamente corta de más o menos 27 años, la aplicación doméstica de esta tecnología menos tiempo aún (16 años). En este período relativamente corto los sistemas han evolucionado a pasos acelerados, tanto en el desarrollo del segmento espacial, como en el campo del segmento terrestre. De esta manera, podemos identificar cuatro generaciones de sistemas vía satélite:

PRIMERA GENERACIÓN

Satélites domésticos de banda única, desarrollados a partir de 1972 y que debido a su gran consumo de potencia sólo tenían un máximo de hasta 12 transpondedores en la banda C o 10 transpondedores en la banda Ku.

SEGUNDA GENERACIÓN

Satélites domésticos desarrollados a partir de 1982, y que cuentan con un máximo 24 transpondedores en banda C o entre 14 y 16 transpondedores en banda Ku, a esta generación corresponden la mayor parte de los satélites domésticos de comunicaciones actuales, y operan con polarizaciones ortogonales para re-utilización de frecuencia.

Los satélites Morelos fueron los primeros satélites híbridos de esta generación; este tipo de satélites por lo regular cuenta con 18 transpondedores en la banda C con potencias que

van de los 7 a los 6 Watts, y con hasta 6 transpondedores en banda Ku con potencias que oscilan entre los 16 y los 20 Watts.

TERCERA GENERACIÓN

Satélites domésticos desarrollados a partir de 1989, generalmente en banda Ku, que cuentan con 20 a 24 transpondedores si la potencia es de 45 dB Watts; con una potencia mayor el número de transpondedores se reduce a una cantidad de entre 16 a 18 transpondedores.

Los satélites híbridos de esta generación cuentan con un máximo de 24 transpondedores en banda C y de 16 a 24 transpondedores en banda Ku. El sistema de satélites Solidaridad y el 80 por ciento de los satélites de comunicación en construcción en el mundo pertenecen a esta generación.

CUARTA GENERACIÓN

Son los satélites domésticos en desarrollo a partir de 1990, del tipo híbrido cuya particularidad radica en que conectan receptores en banda C con transpondedores en banda Ku, o viceversa. PanAmSat ha solicitado que sus nuevos satélites sean de este tipo.

También se ha alcanzado con el concepto de satélite inteligente, en el cual la señal también puede procesarse y conmutarse a bordo.

Por último se ha experimentado para desarrollar los sistemas en banda Ka con un mayor ancho de banda (con grandes problemas de atenuación por lluvia) y los enlaces intersatelitales ópticos.

QUINTA GENERACIÓN

Con las constelaciones de satélites de órbita media y baja tales como los sistemas ICO, Iridium, Globalstar, Ellipso y Teledesic que se dedican a la comunicación móvil global.

Actualmente existe un gran desarrollo en lo que a comunicaciones se refiere, sin embargo el futuro se ve proyectado con las comunicaciones móviles apoyadas en el segmento terrestre con los medios descritos anteriormente (medios guiados y no guiados). Cabe señalar que el enfoque de esta Tesis será principalmente las comunicaciones móviles satelitales, por lo que de los demás puntos el planteamiento será de forma general.

CAPÍTULO 2 COMUNICACIONES MÓVILES.

II.1 CRONOLOGÍA DE LA TELEFONÍA.

La telefonía tiene ya una larga historia, comenzando sus orígenes en el siglo XIX, a continuación se presenta una cronología práctica de ésta:

1843

Primeras líneas de telégrafo eléctrico en Estados Unidos.

1858

Se da una transmisión fallida con el cable trasatlántico.

1866

En un nuevo invento -con éxito- se da la transmisión con el cable trasatlántico.

1876

Transmisión inicial de la voz mediante el teléfono por Graham Bell.

1877

El teléfono se convierte en un instrumento para comunicarse a distancia mediante un cable.

1878

Se realiza un primer enlace entre la ciudad de México y el poblado de Tlalpan.

1881

Se da la concesión para operar una red telefónica en la Ciudad de México; al principio, el cableado molesta a los habitantes.

1882

Surge la Compañía Telefónica Mexicana.

1883

Se logra la primera comunicación al extranjero, entre la ciudad de Matamoros, Tamaulipas y la ciudad de Brownsville, Texas.

1911

Se inicia el servicio interurbano, al conectar líneas a Tlanepantla y Cuautitlán.

1917

Se introduce al país el sistema telefónico inalámbrico.

1924

Ericsson, una de las compañías utilizaría dígitos; Compañía Telefónica, dígitos y letras; las posibilidades de uso, del 10000 al 99999.

1925

Se tiende el cableado entre México y Estados Unidos y se empiezan a otorgar las concesiones para larga distancia.

1928

Se logra la conexión con Europa; el horario de servicio, de 6:30 a.m. a 10:00 p.m., la duración por llamada: 12 minutos; de 60 mil aparatos instalados, se conectan 30 mil.

1930

Se enlazan Norte y Sudamérica, 200 mil teléfonos se comunican.

1947

Se constituye Teléfonos de México.

1950

Se amplía la capacidad de larga distancia a 32 poblaciones.

1953

Se pone en servicio el sistema de microondas entre Puebla y la Ciudad de México.

1957

Se inaugura el Télex.

1962

Se lanza el satélite Telstar, patrocinado por el sistema Bell y la NASA, es el primero en funcionar con microondas.

1963

Primera transmisión televisiva a través de microondas.

1968

Debido a los Juegos Olímpicos, se instalan 19840 teléfonos y el primer cableado coaxial.

1969

Se consolida la larga distancia internacional con un servicio a Roma, Italia.

1970

Se promueve la comunicación vía satélite y su expansión.

1978

La tecnología digital sustituye a la analógica.

1981

Primeros enlaces con fibra óptica.

1983

Se introduce la telefonía celular en los Estados Unidos.

1985

Entra en órbita el satélite Morelos I, opera dos meses después.

1989

Nace Iusacell, la primera compañía de telefonía celular en México.

1993

Se lanzan los servicios de transmisión de datos y enlaces satelitales.

1997

Se introduce la plataforma basada en tecnología CDMA.

Actualmente, existen múltiples sistemas de comunicaciones móviles, los cuales se muestran en la tabla II.1:

Comunicaciones Móviles	- Radio Comunicación Móvil
	- Radiotelefonía Celular
	- Radio Búsqueda (Paging)
	- Trunking (Sistemas de compartición de recursos)
	- Vía Satélite

Tabla II.1
Sistemas de comunicaciones móviles.

II. 2 VÍA SATÉLITE

La comunicación vía satélite se caracteriza por proporcionar servicio a áreas de gran extensión incluyendo lugares aislados de difícil acceso, que sería imposible utilizando cualquier otro tipo de sistema, o bien la infraestructura requerida no es costeable.

(Nota: Más adelante se mencionarán los diferentes sistemas satelitales)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

II. 2.1 ELEMENTOS BÁSICOS DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN VÍA SATÉLITE.

II. 2.1.1 SATÉLITE

El satélite es un cuerpo secundario o nave espacial que órbita alrededor de otro de mayor masa llamado principal. Un satélite de comunicaciones es básicamente un repetidor de microondas que gira alrededor de la tierra.

II. 2.1.2 ESTACIÓN TERRENA

Básicamente una estación terrena es una interfaz entre las redes terrestres y los satélites. La estación terrena está compuesta por un conjunto de equipos cuya finalidad es la acondicionar en frecuencia y potencia las señales de información.

Existen varias formas de clasificar a las estaciones terrenas: por el modo de comunicación, por el tamaño de antena y por el tipo de antena que utilizan.

Por el modo de comunicación se clasifican en transmisoras, receptoras o ambas. Por el tamaño de antena se conocen como estaciones grandes y pequeñas, las grandes normalmente usan antenas de 10 a 60 metros de diámetro y por lo regular requieren un mecanismo de seguimiento del satélite, con el fin de asegurar que la potencia de transmisión y recepción sea la máxima posible, mientras que las pequeñas usan antenas con diámetros menores de 10 metros. También existen antenas denominadas terminales de apertura muy pequeña VSAT con diámetro de 30 a 90 centímetros.

ESTACIÓN TERRENA TRANSMISORA

Una estación terrena transmisora, es aquella cuyo objetivo es sólo enviar información hacia el satélite, como ejemplo de este tipo de estaciones son las utilizadas por las compañías distribuidoras de televisión.

ESTACIÓN TERRENA RECEPTORA

El primer elemento de una estación receptora es la antena seguida por un subsistema de bajo ruido y banda ancha seguido por un convertidor de frecuencia a frecuencia intermedia. En FI, las portadoras son separadas y demoduladas para obtener la información en banda base. La banda base es demultiplexada si es necesario y transferida hacia su destino.

II. 2.1.3 ÓRBITAS SATELITALES

La superficie cubierta por un satélite está en función de la altitud del satélite, de acuerdo a esto se pueden clasificar los satélites dependiendo de la órbita en la que se encuentren operando:

Satélites de órbita baja (LEO's), de 400 a 800 km. de altitud.

Satélites de órbita media (MEO's), de 1200 a 2000 km. de altitud.

Satélites de órbita geoestacionaria (GEO's), 35,870 km. de altitud.

II. 2.2.3.1 SATELITES GEOESTACIONARIOS.

Los satélites en órbita geoestacionaria, conservan una velocidad constante de 3075 m/s, con esta, se considera que el satélite está en una posición fija con respecto a la tierra, y es más sencillo el uso y monitoreo de los mismos; además hace posible la comunicación usando un solo equipo de antena.

Las ventajas de los satélites geoestacionarios con respecto a los otros son: la continuidad de comunicación, efecto doppler mínimo, no requiere de alguna conmutación de satélite, el costo es bajo tanto del segmento espacial como de las estaciones terrenas y menor número de satélites puesto en órbita.

Las ventajas de los satélites en órbitas baja y media con respecto a los satélites geoestacionarios es el menor retardo de las señales, menor potencia necesaria de transmisión de estaciones terrenas y satélite resultando en el uso de estaciones terrenas más pequeñas.

Técnicamente el satélite puede servir a cualquier estación terrena dentro de la cobertura de sus antenas. Alrededor del 42% de la superficie de la tierra está dentro de la línea de vista de un satélite geoestacionario, aunque las latitudes mayores a 81.25° norte y sur no son cubiertas. Las latitudes mayores a 77° norte y sur no son cubiertas si el ángulo de elevación es menor a 5° debido a la distancia a la que se encuentra el satélite, la potencia de la señal recibida es débil (inversamente proporcional al cuadrado de la distancia) y el tiempo de propagación se retarda 270 ms.

La UIT y agencias nacionales reguladoras (como la FCC en USA) son las encargadas de controlar las coberturas reales.

Por otra parte existen las órbitas con una inclinación con respecto al plano ecuatorial (órbitas inclinadas). En esta órbita los satélites están a la vista de las latitudes que se encuentran más al norte o bien al sur, esto es, aquellas zonas donde no es práctico el uso de un satélite en órbita geoestacionaria. Los satélites en este tipo de órbitas requieren que las estaciones terrenas los rastreen continuamente, y sólo están a la vista durante un cierto periodo de tiempo, por lo que usualmente, este tipo de órbitas requieren de varios satélites

espaciados a lo largo de la misma, para mantener un servicio continuo. Este tipo de órbitas generalmente son elípticas.

Los diferentes tipos de órbitas se muestran en la Figura II.1.

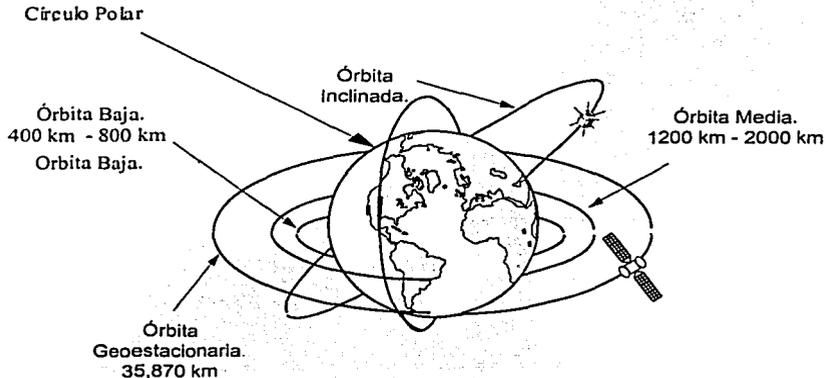


Figura II.1
Órbitas para la operación de satélites

II. 2.2.3.2 DESARROLLO DE LAS COMUNICACIONES VÍA SATÉLITE

II. 2.2.3.2.1 CLASIFICACIÓN DE LAS COMUNICACIONES ESPACIALES.

Las radiocomunicaciones que se efectúan de una estación de satélites o estaciones espaciales se les denominan, generalmente, comunicaciones espaciales; pero tienen el nombre formal de : comunicaciones radio espaciales . Principalmente, se les clasifica en tres grupos siguientes:

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

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A esta última se le conoce como comunicación por satélite.

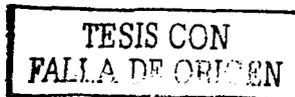
II. 2.1.4 BANDAS SATELITALES.

De acuerdo a la IEEE, el espectro radioeléctrico se divide de acuerdo con la tabla II.2:

Distribución de bandas radioeléctricas para la IEEE		
Banda	Intervalo	Unidades
Hf	3 – 30	MHz
Vhf	30 – 300	MHz
Uhf	300 – 1	MHz – GHz
L	1 – 2	GHz
S	2 – 4	GHz
C	4 – 8	GHz
X	8 – 12	GHz
Ku	12 – 18	GHz
K	18 – 27	GHz
Ka	27 – 40	GHz
U	40 – 60	GHz
w	60 – 90	GHz

Tabla II.2
Distribución de bandas radioeléctricas.

II. 2.2 ASPECTOS TEÓRICOS



II. 2.2.1 ELEMENTOS FÍSICOS QUE COMPONEN UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN VIA SATELITE.

Los elementos básicos de un servicio de comunicación vía satélite son:

- Segmento espacial.
- Segmento terrestre.

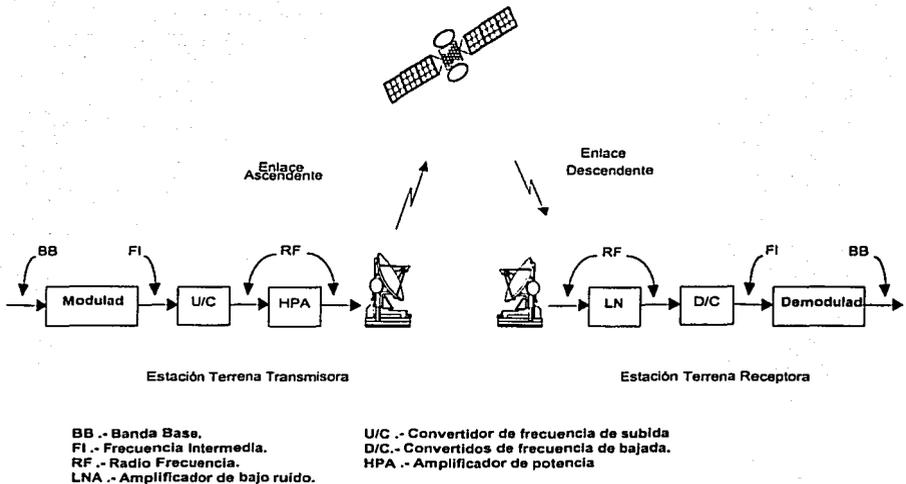


Figura II.2
 Diagrama de bloques de comunicación vía satélite

II. 2.2.1.1 SEGMENTO ESPACIAL

El segmento espacial consiste del satélite, la órbita espacial y los medios para su colocación en el espacio (lanzamiento) y el centro de control de satélites.

Un satélite de comunicaciones está compuesto por los siguientes subsistemas:

- Propulsión.
- Térmico.
- Telemetría y comando.
- Eléctrico
- Comunicaciones.
- Orientación.
- Antena



Todos estos subsistemas son de vital importancia para mantener en posición y en condiciones de operación al satélite, sin embargo como el objetivo de los satélites es proporcionar servicio de comunicaciones, se puede considerar al subsistema de comunicaciones como el más importante.

SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Este subsistema provee la energía durante la colocación y operación en órbita del satélite. Esta compuesto por dos sistemas independientes entre sí, el primero esta conformado por un arreglo de paneles solares que está en dirección al sol en todo momento y provee una potencia eléctrica durante el periodo de luz solar. El segundo es un sistema de baterías que proporcionan energía eléctrica durante eclipses.

PROPULSIÓN

Este subsistema se emplea principalmente en satélites geoestacionarios y permite colocar al satélite en su órbita geoestacionaria, mantener la orientación de las antenas hacia la tierra y mantener la posición orbital asignada al satélite, de modo que la variación nunca sea mayor a 0.1°. Este subsistema recibe comandos desde tierra con los cuales se ajusta la velocidad por medio del encendido y apagado de cada uno de los propulsores disponibles.

Por medio de una señal de Telemetría se realiza la medición del propelente disponible dentro del satélite para tener una predicción precisa del fin de su vida útil. El propelente ahorrado durante la etapa final de la colocación en órbita se utiliza para extender la vida en operación.

CONTROL TÉRMICO

El satélite está sujeto a temperaturas ambientales extremas debido al calentamiento por radiación solar y congelamiento durante los eclipses, por lo que este subsistema tiene la función de mantener la temperatura dentro del rango de operación de los componentes de cada uno de los subsistemas. Este control se logra mediante radiadores, dobladores térmicos, sábanas térmicas de aislamiento multicapa, limitadores de temperatura y calentadores controlados termostáticamente.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

CONTROL DE ORIENTACIÓN

Este subsistema controla la orientación del satélite en todas las fases de su vida mediante distintos mecanismos y procesamiento electrónico. El subsistema registra la posición del satélite, controla los propulsores para la corrección de la misma y direcciona las antenas y paneles solares, utilizando una computadora a bordo la cual permite mantener las operaciones por periodos sin intervención del centro de control. La información para determinar la orientación del satélite se proporciona a través de los sensores del satélite.

TELEMETRÍA, COMANDO Y RANGO (TC&R).

El subsistema de telemetría transmite hacia la tierra los resultados de las mediciones, información concerniente a la operación del satélite, la operación del equipo y la verificación de la ejecución de los comandos recibidos. Tiene la capacidad simultánea de telemetría y medición de distancia del satélite a la tierra.

Se compone de flujos de telemetría con redundancia y tiene capacidad simultánea de telemetría y medición de distancia del satélite a la tierra, utilizando durante la transferencia de órbita una antena omnidireccional, y en su posición geostacionaria la antena de comunicaciones.

El subsistema de comando recibe y distribuye los comandos originados interna y externamente para cambiar el estado o modo de operación del equipo. Es necesario un grado extremo en la seguridad de estas señales por lo que existen comandos de ejecución diferida, los cuales son transmitidos al satélite, procesados y almacenados temporalmente en él, retransmitidos hacia la tierra y ejecutados sólo hasta después de recibir nuevamente en el satélite una señal de confirmación del comando.

El subsistema de rango recibe y retransmite tonos para la medición de la distancia del satélite a la tierra, esta distancia, se calcula mediante el retardo en tiempo de una señal desde una estación terrena hasta el satélite. Es necesario tomar en cuenta con precisión los tiempos de retardo de la señal dentro de los dispositivos electrónicos utilizados para su procesamiento.

CARGA ÚTIL

La carga útil de los satélites de comunicaciones es el transpondedor. La palabra transpondedor proviene de la conjunción de "transmitir" y "responder" y se refiere al equipo del satélite que conecta la antena receptora con la transmisora. El transpondedor no es un solo equipo, si no que consiste de todas las unidades de los canales de comunicación del satélite.

El transpondedor es la parte del satélite que se encarga de repetir la señal recibida para su retransmisión hacia la tierra, y está compuesto típicamente por tres secciones, recepción, filtrado o canalización y amplificación.

RECEPCIÓN

En esta etapa, las portadoras pasan a través de tres procesos, primeramente se rechazan las señales fuera de la banda de operación del transpondedor por medio de un filtro pasabanda, después las señales son preamplificadas por un LNA ya que al llegar al satélite están atenuadas considerablemente, seguida de una traslación en frecuencia.

FILTRADO

Esta etapa utiliza filtros pasabanda ubicados a la entrada y salida de la sección de amplificación. Los filtros de entrada tienen como objetivo dirigir las portadoras a su canal correspondiente, ya que sólo dejan pasar las frecuencias de operación de un canal específico, enseguida se amplifica y realiza una etapa de filtrado con el fin de rechazar las señales no deseadas generadas por la amplificación de potencia.

AMPLIFICACIÓN

Aquí las portadoras pasan por una unidad de control de canal CCU (también conocida como atenuador de posición), la cual atenúa las portadoras, con el fin de controlar la ganancia del amplificador de potencia.

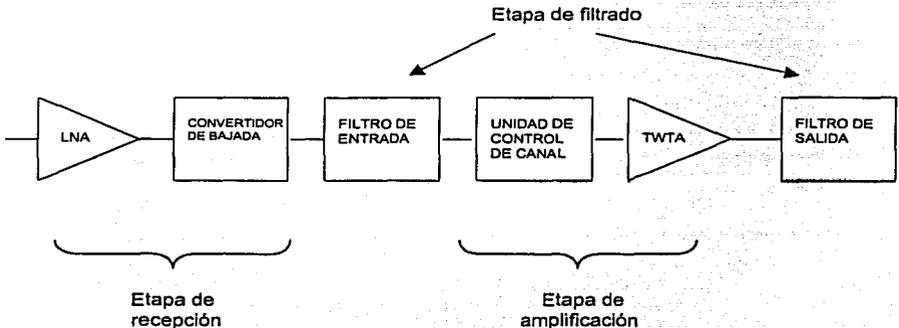


Figura II.3
Diagrama de bloques de un transpondedor.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ANTENAS

Los propósitos de este subsistema son: proveer coberturas terrestres de regiones a enlazar mediante arreglos de antenas y reflectores, captura y transmite portadoras desde y hacia estaciones terrenas, realiza la polarización electromagnética de las portadoras radiadas, determina ganancias de recepción y transmisión.

Existen cuatro tipos de antenas utilizadas en los satélites de comunicaciones (Figuras II.4, II.5, II.6, II.7):

Monopolos y Dipolos.- Utilizada principalmente en VHF y UHF por el subsistema de TC&R.



Figura II.4
Antena dipolo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

De bocina.- Se utilizan para haces relativamente anchos, como los necesarios para un cubrimiento global.

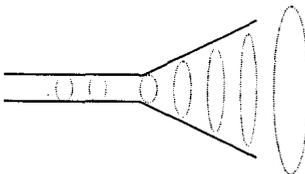


Figura II.5
Antena de bocina.

Reflector.- Se utilizan para haces relativamente angostos, como los necesarios para cubrimientos domésticos.

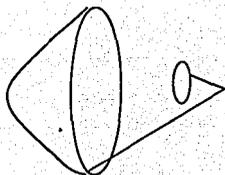


Figura II.6
Antena tipo reflector.

De elementos múltiples.- Se utilizan para definir una cobertura específica deseada.

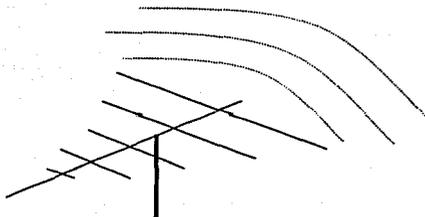


Figura II.7
Antena de elementos múltiples.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Las coberturas son especificadas a 3 dB del ancho de haz o ángulo entre los bordes del lóbulo principal de radiación, la tabla II.3 muestra el diámetro aproximado de cobertura terrestre con respecto al ángulo del ancho de haz.

Ancho de Haz	Diámetro de Cobertura Terrestre
10 °	6318 km
5.7 °	3601 km
2.8 °	1800 km
1.0 °	632 km

Tabla II.3
Coberturas terrestres por antenas de satélite.

CENTRO DE CONTROL DE SATÉLITES.

Los satélites están sujetos a fuerzas gravitacionales provenientes de la Tierra, la Luna y el Sol, así como a las de tipo electromagnético, que influyen sobre su posición. Los satélites deben permanecer en una posición asignada y para esto están provistos de circuitos para realizar procesos de telemetría, comando y rango para identificar la dirección en que se encuentra la Tierra y el Sol. Estas actividades permiten tener la información necesaria para su orientación y así mantener su posición dentro de la órbita espacial.

El centro de control provee una interfaz directa con los satélites, verifica su estado y seguridad a través del subsistema de telemetría, comando y rango, permitiendo configurar, programar el procesador a bordo y mantener su orientación así como su posición orbital, verifica el subsistema de comunicaciones y pruebas en órbita con lo que posibilita el control de parámetros técnicos y el desarrollo de diversas pruebas de las diferentes señales de comunicaciones que se cursan a través de los satélites, adicionalmente efectúa la simulación dinámica de los satélites y pruebas de carga útil.

II. 2.2.1.2 SEGMENTO TERRESTRE

El segmento terrestre comprende las estaciones terrenas fijas, semifijas y móviles, las cuales transmiten y reciben toda información desde y hacia al satélite.

Estas estaciones están compuestas por los siguientes equipos:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

MODULADOR

La señal de banda base es procesada con el fin de adaptarla al canal satelital para su transmisión eficiente, este proceso consiste en mezclar la señal banda base con una portadora de frecuencia intermedia FI. Si la señal es colocada en una portadora el formato es llamado un solo canal por portadora o SCP.

TRASLADADOR DE FRECUENCIA

A la portadora modulada, se le aumenta su frecuencia de operación de FI a rangos de radiofrecuencia, con el objetivo de adecuarla para su transmisión en el espacio. Este traslado se debe a que las radiofrecuencias mayores de 1 GHz son apropiadas para su propagación a través de la atmósfera hacia el espacio, además que su transmisión hacia y desde los satélites no es tan susceptible al ruido debido a disturbios atmosféricos como en las bajas frecuencias.

AMPLIFICADOR DE POTENCIA

Este equipo proporciona la energía suficiente a las señales de radiofrecuencia para que pueda ser utilizada por el satélite, existen distintos tipos de amplificadores:

De válvula.- Este tipo de amplificadores tiene la característica de contar con cavidades resonantes, las cuales tienen un ancho de banda de operación relativamente pequeño, por lo que están provistos de varias cavidades con distintas frecuencias de resonancia cada una, siendo posible usar solamente una a la vez. Este tipo de amplificador también es conocido como klystron.

De estado sólido conocidos.- Este tipo de amplificadores utiliza transistores de efecto de campo GaAs, su ancho de banda de operación típico es de 500 MHz. Estos amplificadores se conocen como SSPA.

ANTENA TRANSMISORA.

Este es uno de los componentes más importantes de la estación terrena, debido a que provee las señales radiadas hacia el satélite y/o recibidas desde el satélite. La antena no sólo provee la ganancia necesaria para permitir una transmisión y recepción apropiada, además tiene características de radiación que discriminan señales indeseables y minimizan la interferencia hacia otro satélite o sistema terrestre mediante el uso de polarizadores.

Varios factores afectan el desempeño de una antena: ganancia, eficiencia, ancho de haz, patrón de radiación y temperatura de ruido. Esto está determinado por el diseño de la antena y del alimentador.

GANANCIA.

Es la relación de la potencia de salida entre la potencia de entrada a la misma, la ganancia depende de tres parámetros:

- Área de la antena, ya que la energía a radiar es mayor conforme aumenta el área. El área usada para calcular la ganancia es el área efectiva total que apunta directamente hacia el satélite.
- Frecuencia de operación, debido a que la ganancia se incrementa con el cuadrado de la frecuencia utilizada. Esto es debido a que a mayores frecuencias las señales no se esparcen y son enfocadas más fácilmente; como ejemplo, antenas para banda Ku tienen una ganancia nueve veces mayor que antenas para banda C.
- La eficiencia, es una medición del porcentaje de la señal radiada, por el sistema reflector/alimentador. Una antena ideal tiene una eficiencia de 100%. El rango de eficiencia típico es del 40% al 70% o tal vez mayor. Las antenas de alimentación descentrada tienen eficiencias de alrededor del 80% debido a que no existen estructuras entre el objetivo y la superficie reflectora que impidan el bloqueo de la radiación saliente.

ANCHO DE HAZ Y PATRÓN DE LÓBULOS LATERALES.

El ancho de haz está definido como el ancho del lóbulo principal entre sus puntos de potencia media. El campo real de visión de una antena está caracterizado por el ancho del haz principal y patrón de radiación de sus lóbulos laterales (Figura 11.8). La gráfica de la potencia radiada de una antena muestra que la mayor parte de su potencia esta contenida en el lóbulo principal. Este es un factor muy importante considerando que los satélites están espaciados aproximadamente 2° .

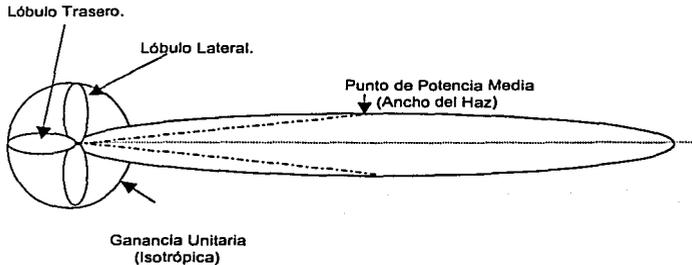


Figura 11.8
Ganancia de una Antena de Alta Ganancia.

TESIS CON
FALLA DE COPIEN

La exacta localización y magnitud relativa de los lóbulos laterales es una característica importante del desempeño de una antena, debido a que es una fuente potencial de interferencia hacia y desde otros sistemas.

PATRÓN DE RADIACIÓN.

Con el fin de mantener la interferencia dentro de niveles aceptables, tanto para el enlace de subida como para el de bajada, el límite de la envolvente de los lóbulos laterales de la antena por norma internacional debe de ser $-32-25\log\theta$ dB en relación con el nivel máximo del haz principal, donde θ es la distancia angular en grados del lóbulo máximo del haz principal.

Otro factor que influye en el patrón de radiación es la relación f/D conocido como profundidad de antena, determinado por la longitud focal con relación al diámetro de la antena. En general las antenas con relaciones f/D pequeñas, tienen lóbulos laterales pequeños, debido a que el alimentador y amplificador de bajo ruido están más cerca al área reflectora y estas antenas están mejor protegidas del ambiente circundante.

ANTENA RECEPTORA.

El propósito de la antena receptora es coleccionar y concentrar las señales provenientes del satélite.

El tamaño de la antena y su diseño está relacionado más con la relación ganancia entre la temperatura de ruido G/T .

TEMPERATURA DE RUIDO DE LA ANTENA.

Este parámetro representa la cantidad de ruido detectado por el reflector proveniente del ambiente circundante. Una porción de este ruido es captada a través de los lóbulos laterales, pero predomina el proveniente del espacio, captado por el lóbulo principal. El ruido también proviene de fuentes de ruido hechas por el hombre, como lo son las luces fluorescentes, las cuales radian microondas así como fuentes naturales.

Debido a que la tierra caliente emite radiación, la temperatura de ruido se incrementa conforme una antena apunta con un menor ángulo de elevación como es el caso de las regiones que se encuentran más alejadas del ecuador.

Las antenas grandes detectan menor ruido debido a que sus lóbulos laterales son más pequeños.

AMPLIFICADOR DE BAJO RUIDO.

Amplifica el nivel de potencia de las portadoras recibidas por la antena y rechaza por medio de un filtro pasabanda las señales no deseadas de manera que sólo amplifica las portadoras deseadas.

Las características principales que definen a un amplificador de bajo ruido son la alta ganancia y niveles bajos de temperatura de ruido con el fin de mejorar el valor de la relación señal a ruido a su entrada.

Existen variantes en las configuraciones prácticas de los LNA, tales como LNA típicos, LNB y LNC, los cuales facilitan la recepción hacia los equipos de banda base.

TRASLADADOR DE FRECUENCIA.

Reduce la frecuencia de operación de la portadora a FI, para su manipulación en etapas siguientes.

Existen tres esquemas de diseño utilizados para la traslación de frecuencia que son la conversión sencilla, conversión dual y conversión de bloque.

La conversión en frecuencia se logra por un proceso denominado heterodinación ó mezclado. Donde un sintonizador selecciona el canal enviando un voltaje hacia un oscilador controlado por voltaje VCO, el cual produce el mezclado de frecuencia deseado.

DEMODULADOR.

Recupera la información en banda base eliminando la portadora de FI, determina la calidad del enlace satelital, su estructura depende del tipo de modulación empleado.

II. 2.2.2 ELEMENTOS TEÓRICOS QUE COMPONEN UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN VÍA SATÉLITE.

II. 2.2.2.1 REUSO DE FRECUENCIA

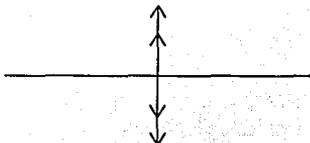
Debido a lo limitado que es el espectro radioeléctrico actualmente disponible es necesario su máxima optimización, por medio del reuso de frecuencia, una de las técnicas para lograrlo está basada en el principio de la polarización de las ondas electromagnéticas.

Teniendo en cuenta que en el espacio libre los campos eléctrico y magnético son ortogonales entre sí y a la dirección de propagación, y además que es factible la transmisión

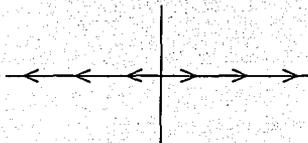
de una onda electromagnética con una polarización específica, entonces es posible el uso de la misma frecuencia por dos señales con polarización distinta.

Existen dos tipos de polarización: lineal y elíptica.

Dentro de la polarización lineal, los campos magnético y eléctrico de la señal permanecen en los mismos planos en los cuales fueron originalmente transmitidos. Dependiendo del plano tomado como referencia que por lo general es el plano de tierra, las polarizaciones son vertical y horizontal, figura II.9.



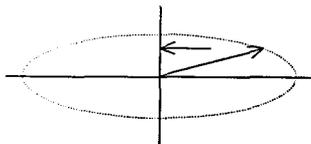
Polarización Vertical



Polarización Horizontal

Figura II.9

Por otra parte, la polarización elíptica (Figura II.10) resulta de la interacción de dos ondas electromagnéticas de la misma frecuencia, con la misma dirección de propagación, y con componentes del campo eléctrico en planos perpendiculares con una diferencia de fase. Un caso particular de este tipo de polarización es el circular, el cual resulta cuando la fase relativa es $\pi/2$ y la magnitud de los componentes de los campos eléctricos en los planos perpendiculares son iguales.



Polarización Elíptica Derecha



Polarización Elíptica Izquierda

Figura II.10

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Las ondas electromagnéticas pueden transmitir mayores cantidades de información, conforme la frecuencia aumenta, pues el ancho de banda se vuelve una pequeña fracción de la frecuencia de operación, esto es posible conforme la tecnología permite utilizar frecuencias mayores.

II. 2.2.2.2 TÉCNICAS DE MODULACIÓN ANALÓGICA.

Antes que se pueda transmitir a través de un canal de comunicación una señal portadora de información típicamente se utiliza algún tipo de modulación para producir una señal que pueda ser fácilmente adaptada por el canal. Comúnmente, el proceso de modulación traslada una señal portadora de información, que se conoce generalmente como *señal mensaje* (señal de inteligible), a una nueva localización espectral.

La modulación es el proceso por el cual un parámetro de una portadora varía en una correspondencia de uno a uno con la señal que contiene la información, que se conoce generalmente como el mensaje. Entre los diversos usos de la modulación se encuentra la obtención de una transmisión eficiente, la asignación de los canales y el uso de multiplexor. Si la portadora es continua, la modulación será modulación de onda continua. Si la portadora está formada por una secuencia de pulsos, la modulación será modulación por pulsos. Hay dos tipos básicos de modulación de onda continua: modulación lineal y modulación angular. Por ejemplo, si la señal se ha de transmitir a través de la atmósfera o el espacio libre, es necesario elevar el espectro de la señal hasta una frecuencia que pueda ser radiada eficientemente por medio de antenas de dimensiones razonables.

Si más de una señal utiliza un canal, la modulación permite la traslación de las diferentes señales a diferentes localizaciones espectrales, lo que permite al receptor seleccionar la señal deseada.

El multiplexor es un esquema que permite que dos o más señales se comuniquen simultáneamente, utilizando un sólo sistema. El multiplexor por división de frecuencia (FDM) resulta cuando se lleva a cabo la transmisión simultánea trasladando espectros de mensajes, utilizando la modulación, a regiones donde *no haya traslapes* en un espectro de banda base. La señal de banda base se puede entonces transmitir de la manera que se desee. El multiplexor por división de tiempo (TDM) resulta cuando las muestras de dos o más fuentes de datos se entrelazan, utilizando la conmutación, para formar una señal de banda base. El multiplexor se obtiene con el uso del segundo conmutador, que debe ser sincrónico con el conmutador del multiplexor.

Para que una comparación de los sistemas tenga sentido hay que tomar en consideración un gran número de factores. Como ejemplo se tienen: costo o complejidad del transmisor y del receptor, los requisitos del ancho de banda, la compatibilidad con los sistemas existentes y el funcionamiento, especialmente en la presencia de ruido.

El ejemplo más sencillo de modulación lineal es el de doble banda lateral (DSB). Esta modulación DSB se pone en práctica con un sencillo dispositivo, fácil de producir; debe usarse la demodulación coherente.

Una señal de banda lateral única (SSB) se genera transmitiendo una de las bandas laterales de una señal DSB. Estas señales pueden generarse, ya sea por filtración de una señal lateral de una señal DSB o por el uso de un modulador de desviación de fase.

La banda lateral residual (VSB) resulta cuando el residuo de una banda lateral aparece sobre la que sería una señal SSB. La señal VSB es más fácil de generar que la SSB. La modulación puede ser coherente o sino se puede usar la reinserción de portadora.

Los moduladores de conmutación, seguidos de filtros, se pueden usar para la aplicación de dispositivos de producción.

Se obtiene la traslación de frecuencia por medio de la multiplicación de una señal por una portadora y filtrándola después. Estos sistemas se conocen como *mezclador*. El concepto de mezcla se utiliza en los receptores superheterodinos. El mezclador resulta en frecuencias *de imagen*, las que pueden dar problemas.

La interferencia, es la presencia de componentes externas/internas indeseables en la señal, pueden ser un problema de modulación. La interferencia a la entrada de un demodulador resulta en componentes indeseables a la salida del demodulador. Si la interferencia es grande y si el demodulador no es lineal, puede haber un efecto de umbral. El resultado es una pérdida total de la componente de la señal.

Un discriminador FM se puede poner en práctica como un diferenciador seguido por un detector de envolvente. Los limitadores de paso de banda se usan a la entrada del diferenciador para eliminar las variaciones de amplitud. En los sistemas de FM el efecto de la interferencia es una función de tanto amplitud como la frecuencia de tono que interfiere.

La modulación analógica por pulsos es el resultado que se obtiene cuando se muestra una señal y se usa por portadora de tren de pulsos. Un parámetro de cada pulso se varía en una correspondencia de uno a uno con el valor de cada muestra.

La modulación digital por pulsos resulta cuando los valores de la muestra de la señal se cuantifican y codifican antes de la transmisión.

Por tanto, la técnica de modulación se ve influida por las características de la señal mensaje, las características del canal, el funcionamiento que se desea obtener del sistema total de comunicación, los datos transmitidos y los factores económicos que siempre son importantes en las aplicaciones prácticas. Es de esperar que, por experiencia, el Ingeniero en comunicaciones adquiera la suficiente introspección para colocar los últimos factores en apropiada perspectiva para una aplicación en particular.

Tipo de modulación	Eficiencia	Aplicaciones típicas
DSB	100%	Sistemas de comunicación de bajo ancho de banda
AM	<50%	Radiodifusión
SSB	100%	Sistemas de comunicación por voz
FM	No aplicable	Radiodifusión de alta fidelidad
PM	No aplicable	Transmisión de datos (suele usarse en la generación de FM)
VSB	100%	Sistemas de banda ancha

Tabla II.4
Comparación de sistemas analógicos.

La tabla II.4 presenta las aplicaciones típicas de los principales tipos de modulación.

II. 2.2.2.3 TÉCNICAS DE ACCESO MÚLTIPLE.

Se le llama acceso múltiple cuando varias estaciones terrenas accesan u ocupan un transpondedor o parte de él, al mismo tiempo, permitiendo optimizar el ancho de banda y potencia del satélite lo cual es fundamental en todo enlace vía satélite.

Las portadoras que utilizan las estaciones terrenas son completamente analógicas y pueden contener uno o múltiples canales de voz, datos, vídeo, entre otros, la información en banda base de estos canales puede ser analógica o digital.

Partiendo de que los recursos existentes en el transpondedor son la frecuencia y el tiempo, se utilizan tres formas de acceder al satélite:

ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA (FDMA).

Es una técnica en la cual, el transpondedor del satélite es usado al mismo tiempo por varias portadoras, cada una tiene asignado un rango de frecuencias dentro del transpondedor, normalmente con un ancho de banda diferente, el cual puede ser tan pequeño como el requerido por un solo canal de voz; el tipo de tráfico soportado es analógico y digital.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En FDMA se debe de tener un control cuidadoso de la potencia en el enlace ascendente ya que la gran desventaja es la generación de intermodulación por el uso de multiportadoras en el transponder debido a la característica no lineal del amplificador, por lo que no se puede utilizar completamente la potencia de salida del satélite. La reducción de potencia de salida para disminuir el nivel de intermodulación dentro del valor deseado se le llama Back off.

Dentro de esta técnica de acceso al satélite existen dos configuraciones, la primera se conoce como asignación fija la cual es muy rígida e invariable, ya que cada estación debe de transmitir siempre con la misma frecuencia.

La segunda alternativa es la asignación por demanda DAMA, la cual permite aprovechar al máximo las ranuras de frecuencia y la potencia del satélite cuando el tráfico que genera cada estación es esporádico, debido a que las ranuras se asignan a las estaciones terrenas solamente durante el tiempo que las necesitan, en el momento en que alguna deja de transmitir, esa ranura se libera y queda disponible para cualquier otra estación que la solicite. Cuando la estación terrena que liberó una ranura desee volver a transmitir, puede utilizar la misma ranura o bien utilizar otra en el caso de que la primera se encuentre ocupada, por lo que la frecuencia de la portadora cambia en el tiempo moviéndose de una posición a otra en el ancho de banda del amplificador.

ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN EN EL TIEMPO (TDMA).

Es una técnica para transmisiones digitales que se caracteriza por utilizar una portadora por transponder, siendo esta su principal ventaja ya que no existe intermodulación y se puede utilizar la potencia del amplificador completamente, lo que implica valores menores en los parámetros de la estación terrena receptora como lo son, diámetro de la antena, G/T , potencia del LNA, entre otros.

El ancho de banda de la portadora es usualmente el ancho de banda del transponder, aunque existen casos donde es sólo una fracción.

En esta técnica un grupo de estaciones tienen asignada una portadora, con un ancho de banda fijo, y se comparte entre ellas secuencialmente en tiempo, es decir, cada estación tiene asignado un lapso conocido como ráfaga para transmitir, y cuando su tiempo se agota debe dejar de transmitir para que lo hagan las estaciones que le siguen en la secuencia, hasta un nuevo turno.

El tiempo asignado a cada estación no es igual, ya que algunas estaciones conducen más tráfico que otras, por lo que es preciso organizar la distribución de tiempos; Existen varios métodos, el más común es mediante un programa establecido con base en las estadísticas de tráfico.

Un sistema TDMA es más complejo y costoso que uno de FDMA y necesita una buena coordinación y sincronización entre todas las estaciones terrenas de la red que lo usan además de una estación de referencia. Las estaciones deben contar con módulos de

almacenamiento de información digital, que van liberando información por paquetes en cada ráfaga.

Una de las ventajas de esta técnica es que durante cada ranura de tiempo se pueden transmitir en forma multiplexada, porciones de canales telefónicos, de datos y hasta de vídeo sobre la misma portadora de la ráfaga.

ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE CÓDIGO (CDMA).

El CDMA es un método que trasforma la señal del usuario, usando una secuencia de código única, es decir, todos los usuarios pueden transmitir al mismo tiempo y a la misma frecuencia, pero tienen un código diferente.

La cantidad de espectro disponible para comunicaciones vía satélite está limitado pero la demanda por el servicio aumenta, una solución es utilizar frecuencias mayores o bien emplear técnicas de reuso de frecuencia.

La polarización de la señal a transmitir permite que la estación terrena pueda recibir o transmitir dos distintas señales en la misma frecuencia pero con distinta polarización. Las técnicas de polarización que existen son cuatro, polarización vertical, horizontal, circular derecha y circular izquierda. La polarización vertical está con relación al eje ecuatorial.

II. 2.2.2.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS TÉCNICAS DE ACCESO EMPLEADAS POR LOS SISTEMAS SATELITALES.

Ventajas	Desventajas
FDMA <ul style="list-style-type: none"> • Se requiere más salida y menor equipo costoso. • La red no requiere sincronización. • Es apropiado para el tráfico ligero de la estación terrena. 	FDMA <ul style="list-style-type: none"> • Existe intermodulación. • Supresión de señal. • Para el enlace de subida es necesario mayor potencia y una capacidad máxima en el transpondedor.
TDMA <ul style="list-style-type: none"> • No existen problemas de intermodulación. • No hay plan de frecuencias. • Alta eficiencia en el uso del transpondedor. • No es necesario un control de potencia. 	TDMA <ul style="list-style-type: none"> • La red requiere tiempos de separación entre tramas. • Se requiere de receptores de rápida adquisición. • Requiere una alta capacidad en el transpondedor.
CDMA <ul style="list-style-type: none"> • No es necesario un control de frecuencia. • La red requiere un mínimo de control. 	CDMA <ul style="list-style-type: none"> • Requiere un control de potencia. • Se necesitan receptores más sofisticados.

Tabla II.5

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

CAPÍTULO 3 COMUNICACIONES MÓVILES VÍA SATÉLITE.

En los últimos años viene produciéndose una pequeña revolución en cuanto a comunicaciones móviles por satélite, originada por la aparición de un nutrido número de sistemas basados en satélites en órbitas baja y media, en contraposición a los tradicionales sistemas geoestacionarios.

Estos sistemas nacen propiciados por los avances en las tecnologías de integración y de proceso digital de señales (incluyendo en este último, el proceso a bordo de satélites en algunos casos), las cuales permiten aumentar la complejidad y dotar de "inteligencia" al sistema sin problemas de exceso de masa o de aumento de costos de los satélites, obteniendo así mejoras sustanciales en los márgenes de enlace que hacen posible una reducción apreciable de las dimensiones y restricciones operacionales de las terminales móviles.

El fundamento teórico de todos estos sistemas lo proporcionan los estudios llevados a cabo por W.S. Adams y L. Rider en 1987, en los que se definían una serie de familias de constelaciones de satélites en órbita polar circular, capaces de proporcionar cobertura sencilla o múltiple con ángulos de visibilidad de 10° o superiores en cualquier latitud terrestre. Cabe mencionar que los satélites geoestacionarios presentan dificultades para ángulos inferiores o en torno a 5°.

Los nuevos sistemas se diferencian básicamente en la constelación adoptada, además de aspectos específicos de diseño y de servicios ofrecidos, como son terminales, cobertura, las perspectivas de cada sistema, tipos de acceso, la señal de enlace, entre otros. La adopción de constelación se basa sobre todo en comparativos costo – capacidad en cada caso, ya que la capacidad global del sistema aumenta con el número de satélites, mientras que el costo es directamente proporcional al mismo número, para un tamaño y complejidad de estos. Por otra parte, la altitud orbital que condiciona directamente el número de satélites mínimo necesarios para una cobertura continua de la Tierra, se decide también como compromiso entre órbitas más elevadas, en torno a los 1200 km. y otras más bajas que conllevan mayores necesidades de mantenimiento en posición y de consumo de combustible debido al rozamiento con la atmósfera.

Actualmente existen diferentes sistemas representativos de esta generación, entre ellos:

- Teledesic.
- Iridium.
- Elipso
- Globalstar.
- ICO.
- Entre otros.

III.1 TELEDESIC.

III.1.1 DESCRIPCIÓN.

TELEDESIC es uno de los proyectos más ambiciosos existentes en el ámbito de las comunicaciones globales vía satélite. Su objetivo es proporcionar enlaces de banda ancha mediante una constelación de 288 satélites situados en órbita baja.

Con el patrocinio de Craig McCaw, Bill Gates y Boeing, Teledesic representa actualmente una de las apuestas más fuertes dentro de la guerra abierta entre distintas empresas multinacionales y operadores de telecomunicaciones por hacerse un hueco en las comunicaciones espaciales.

Los ingenieros del diseño del proyecto, decidieron utilizar satélites de órbita baja para evitar retardos en la transmisión, trabajando en la banda Ka para obtener un buen ancho de banda. En un primer momento se estimó que el número de satélites necesarios para llevar a cabo una red de estas características es de 840, aunque posteriormente se rebajó la cifra a 288.

Teledesic es un proyecto que costará aproximadamente 9,000 millones de dólares.

III.1.2 CONSTELACIÓN SATELITAL

La constelación de satélites propuesta para poder ofrecer los servicios de banda ancha mencionados, constará de 288 satélites colocados en órbita baja, en 12 planos con 24 satélites cada uno. Éstos podrán comunicarse con las estaciones terrenas, realizar conmutación y enlazar con otros satélites próximos, lo que dota al sistema global de una gran flexibilidad, si bien, la complejidad también es elevada. En la Figura III.1 se muestra la constelación Teledesic.

Cada satélite de la constelación es el equivalente a un nodo de una red de conmutación de paquetes de alta velocidad, y tiene enlaces (comunicación inter-satélite), con ocho satélites adyacentes. Cada satélite está enlazado con cuatro satélites dentro del mismo plano (dos delante y dos detrás), y uno en cada uno de los planos adyacentes en ambos lados. Este tipo de interconexión forma un mallado no jerárquico y proporciona una robusta configuración de red que tolera errores y congestiones locales. La red combina las ventajas de una red de conmutación de circuitos (bajos retardos mediante "camino digitales") y de una red de conmutación de paquetes (manejo eficiente de la multi-velocidad y de las ráfagas de datos).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Figura III.1
Constelación de satélites Teledesic

III.1.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL SATÉLITE.

Cada satélite de Teledesic pesará unos 700 kg. y tendrá una vida útil de 10 años. Un panel solar apuntará de forma constante hacia el sol, en busca de energía. El lanzamiento se ha ido realizando en los años 2000-2001.

Se estima que unas 20 compañías participarán en el envío de los satélites hacia el espacio, siendo el socio principal en este aspecto, la compañía norteamericana Boeing. Las transmisiones planeo iniciarlas en el 2001.

III.1.2.2 ÓRBITA.

Aunque no se especifica la ubicación exacta de los satélites, se dice que estos estarán dentro del intervalo de 695 a 705 kilómetros de altura por lo que se denominan satélites de órbita baja (LEO).

III.1.2.3 COBERTURA.

Teledesic cubrirá el 95% de la superficie seca de la Tierra, y casi el 100% de la superficie habitada, dando acceso a comunicaciones interactivas de gran ancho de banda a todas las zonas de la Tierra, incluyendo aquellas en las que de momento no resulta rentable.

El mapa de la superficie de la Tierra, para el sistema Teledesic, se compone de unas 20.000 superceldas, consistente cada una en 9 celdas simples. Cada supercelda es un cuadrado de 160 km. de lado. Las superceldas están dispuestas en bandas paralelas al ecuador. Hay aproximadamente 250 superceldas en la banda del ecuador, y el número de éstas por banda va decreciendo conforme incrementa la latitud. Dado que el número de superceldas por banda no es constante, las fronteras que unen el norte y el sur de cada una no están alineadas.

La huella o sombra de un satélite comprende un máximo de 64 superceldas o 576 celdas. El número actual de celdas de las que un satélite es responsable varía según la posición orbital del satélite y su distancia a los satélites adyacentes. En general, el satélite más cercano al centro de una supercelda tiene la responsabilidad de darle cobertura. Cuando un satélite pasa por encima, dirige su haz a unas celdas fijas dentro de su sombra. Este direccionamiento del haz compensa, tanto el movimiento del satélite, como la rotación de la tierra.

La cobertura se muestra en la Figura III.2.

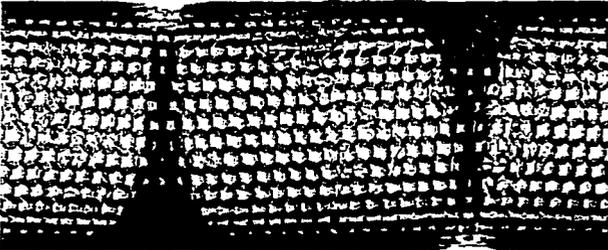


Figura III.2
Cobertura del sistema Teledesic

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

III.1.3 TERMINALES.

La órbita baja que utiliza el sistema Teledesic elimina la extensa demora de la señal que normalmente se experimenta en las comunicaciones por satélites geoestacionarios y a la vez permite el uso de terminales y antenas de baja potencia. Los terminales compactos se montarán sobre un tejado y se conectarán en el interior a una red informática o PC.

No se tienen muchos detalles sobre las terminales. Sin embargo sí se conocen algunas de las funciones que llevarán a cabo, que pasan a describirse a continuación:

- Permitirán implementar algoritmos de encriptación y desencriptación.
- Conversión a formato de paquetes de datos, realizando la interfaz con un amplio rango de protocolos estándar de red (IP, ISDN, ATM ...).
- Deben imponer pequeñas cabeceras y pequeñas colas a los paquetes
- Usará control de potencia en transmisión en el enlace ascendente, de manera que se use la mínima potencia necesaria para llevar a cabo la transmisión. La mínima potencia de transmisión se usará en casos de cielo claro y despejado, mientras que conforme empeoren las condiciones climatológicas (la lluvia) se producirá un incremento de la potencia.
- Deben permitir que las configuraciones fijas y las transportables o móviles operen desde los múltiplos de 16 kbps del canal básico.

III.1.4 CARACTERÍSTICAS DE LA SEÑAL DE ENLACE.

VELOCIDAD.

La mayoría de los usuarios tendrá conexiones bidireccionales que proveen hasta 64 Mbps en el enlace descendente y hasta 2 Mbps en el enlace ascendente. Las terminales de mayor velocidad ofrecen 64 Mbps o más de capacidad bidireccional. Esto representa velocidades de acceso hasta 2.000 veces más rápidas que los módems analógicos estándar de hoy día.

FRECUENCIAS DE ENLACE.

La banda de frecuencias más baja con ancho espectral suficiente para satisfacer el servicio de banda ancha proporcionado por Teledesic, así como sus objetivos de calidad y capacidad, es la banda Ka. Los enlaces de comunicación entre terminal y satélite operan dentro de la porción de la banda Ka que ha sido identificada internacionalmente para servicio fijo en satélites no geoestacionarios, y cuya licencia se ha concedido en EEUU para su uso en Teledesic.

Los enlaces descendentes operan entre 18.8 GHz y 19.3 GHz, y los ascendentes operan entre 28.6 GHz y 29.1 GHz. Por otra parte, los enlaces entre satélites se producen en la banda de los 40-50 GHz.

PROTOSCOLOS.

Hay cuatro requerimientos básicos impuestos por las características de los satélites para protocolos:

- *Deben contener programas pequeños.* Las implementaciones deben ocupar tan poco código como sea posible y usar los buffers de memoria eficientemente para reducir las necesidades de memoria durante su funcionamiento.
- *Deben permitir programas no muy complejos.* Una máquina de estados finitos simple reducirá la complejidad de procesamiento.
- *Deben imponer pequeñas cabeceras y pequeñas colas a los paquetes*
- *Deben proporcionar comunicaciones extremo a extremo.* Sería necesario un direccionamiento individual para cada sistema destinatario en cada vehículo espacial, para lograr comunicaciones extremo a extremo.

Además por las características del entorno de esta red se imponen otros requerimientos adicionales:

- Deben proporcionar algoritmos de encaminamiento que manejen eficientemente cambios dinámicos en la conectividad, así como maximizar la probabilidad de alcanzar el destino deseado dentro del tiempo requerido.
- Deben proporcionar mecanismos para manejar eficientemente la combinación de grandes retardos con altas tasas de error.
- Deben proporcionar mecanismos de suspensión, reenganche y terminación de transmisiones largas en situaciones de contactos periódicos cortos, separados por periodos de desconexión bastante largos.

TIPOS DE ACCESO.

- Enlace ascendente: MF-TDMA (Multi-Frequency Time Division Multiple Access ó Acceso Múltiple por División en el Tiempo Multi Frecuencia).
- Enlace descendente: ATDMA (Asynchronous Time Division Multiplexing Access ó Acceso Asíncrono por Multiplexación por División en el Tiempo).

III.1.5 PERSPECTIVAS DEL SISTEMA.

El funcionamiento del sistema será tentativamente para el año 2002.

La capacidad de manejo de múltiples velocidades de transmisión, junto con la compatibilidad con protocolos estándares y prioridades de servicio, proporciona la flexibilidad para soportar un amplio rango de aplicaciones, de las que se pueden enumerar algunas:

- Dar soporte a Internet e intranets corporativas.
- Comunicación multimedia.
- Interconexión de LANs.
- Dar soporte a compañías Telefónicas desviando el tráfico de comunicaciones de voz.

La flexibilidad es un punto clave, ya que gran cantidad de las aplicaciones y protocolos que proporcionará Teledesic no han sido concebidos todavía.

III.1.6 TARIFAS.

El diseño, la producción y el despliegue del sistema Teledesic costarán más de 9 mil millones de dólares. Las tarifas para los usuarios finales serán fijadas por los proveedores de servicio, pero es la expectativa de Teledesic que las tarifas sean comparables con aquellas de futuros servicios alámbricos urbanos de servicio de banda ancha.

Para 1996 el costo estimado por minuto era de 0.04 USD para 16 kbps.

III.2. IRIDIUM

III.2.1 DESCRIPCIÓN

IRIDIUM es un sistema celular digital de comunicaciones móviles basado en satélites y fue la propuesta de Motorola para un sistema de comunicaciones móviles de cobertura global. (Figura III.3). La principal innovación del sistema, cuando se presentó el proyecto, era el hecho de que los satélites se encuentran comunicados entre sí, es decir, todos los satélites están interconectados con los satélites en su mismo plano orbital o en planos orbitales adyacentes, de forma que cada uno estaba permanentemente comunicado con otros cuatro, formando un sistema conmutado de comunicaciones digitales, pudiendo encaminar las llamadas por la constelación y conectando con la red terrestre.

El sistema emplea entre 15 y 20 estaciones terrestres, con un complejo centro maestro de control en Landsdowne, en Inglaterra, uno de "reserva" en Italia y un tercer centro de ingeniería en Chandler, Argelia.

En un principio, estaba orientado a proveer servicio a áreas rurales y a países en desarrollo que actualmente no tienen una infraestructura de comunicaciones, utilizando terminales móviles o portátiles y antenas de perfil bajo, dando cobertura a nivel mundial. Las comunicaciones incluían voz, datos, fax y servicios de navegación y posicionamiento (GPS) en toda la Tierra. Estos servicios no son posibles con satélites geosíncronos, que están a unos 36,000 km. alrededor de la Tierra, debido a sus retardos de transmisión relativamente grandes, de 0.5 segundos para transmisión con satélite geoestacionario, ya que el tiempo de retardo para satélites de órbita baja no es de más de 50 ms.

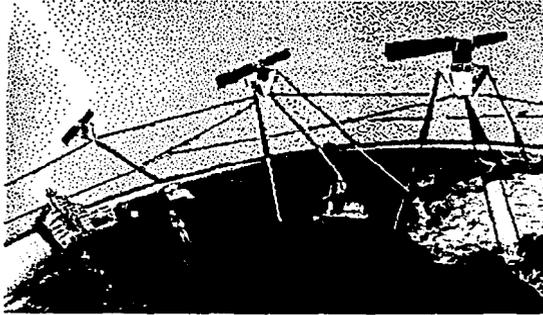


Figura III.3
Ilustración de Cobertura satelital

III.2.2. CONSTELACIÓN SATELITAL.

Consiste en una constelación de 66 satélites.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

III.2.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL SATÉLITE.

Las características más importantes de estos satélites son las siguientes:

- Son satélites pequeños, típicamente de un metro de diámetro, dos metros de altura y un peso de aproximadamente 689 kg.
- Los satélites pueden conmutar y encaminar llamadas desde el espacio gracias a la tecnología inteligente que incorporan.
- Muchos satélites hoy en día, están en órbitas geoestacionarias, situados exactamente a 35,788.59 km (22,238 millas) sobre el ecuador. Esto les permite ser geosíncronos por lo que aparecen siempre en la misma posición respecto a la tierra. Los satélites de órbita baja (o satélites LEO) están situados entre 800 y 1.600 km de altura sobre la tierra. Debido a su baja altura se necesitan más satélites para cubrir la misma área que con un sistema de satélites GEO. Además, puesto que están más cercanos a la Tierra, la señal tiene más potencia, lo que significa que el tamaño del satélite puede ser menor.

Al contrario de lo que ocurre con los satélites de comunicaciones geoestacionarios, los Iridium incluyen circuitos microelectrónicos avanzados, que los hace posibles de comunicarse directamente con un teléfono móvil.

En el espacio, una pareja de alas con células solares fotovoltaicas de arseniuro de galio se despliegan, y el satélite se estabiliza mediante un sistema de 3 ejes. El arseniuro de galio ha ido reemplazando al tradicional Silicio en las células solares fotovoltaicas, en el espacio, debido a su mayor eficiencia, triplicando aproximadamente la potencia para células de la misma área.

Un trío de antenas phased-array apuntan a la Tierra para establecer enlaces directos en el margen 1.610 – 1.625 GHz. en el caso de los clientes Iridium.

El satélite tiene una esperanza de vida media de 6 años.

III.2.2.2 ÓRBITA.

Los satélites orbitan en 6 anillos de 11 satélites cada uno, en órbita LEO, a 780 km de altitud. El patrón orbital es una órbita circular polar con una inclinación de 86.4°. Por lo que todos los satélites se mueven hacia el polo norte en una de las caras de la tierra y hacia el sur en la otra.

Cada uno de los 11 satélites en cada plano están separados de los satélites adyacentes de la misma órbita, y cada anillo de satélites orbitantes está desfasado con los anillos adyacentes con el objeto de reducir el peligro de colisión en las regiones polares de las órbitas de los anillos. (Figura III.4).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

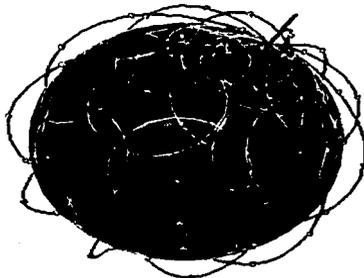


Figura III.4
Constelación de satélites Iridium

Orbita a unos 780 kilómetros alrededor de la Tierra. Además de los 66 satélites activos (11 por cada órbita), existe un satélite planeado como recambio por cada plano orbital para añadir seguridad al sistema.



Figura III.4.1
Imagen de un satélite Iridium

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

III.2.2.3 COBERTURA.

Cada satélite puede dar cobertura a 37 células adyacentes en un patrón en forma de anillo, con un hexágono central compuesto de 3 anillos de 6, 12 y 18 células respectivamente. (Figura III.5).

Cada célula tiene un diámetro de 576 km aproximadamente. Por tanto, un solo satélite proporciona una cobertura de cerca de 67,000 kilómetros cuadrados.

No todas las células de un grupo estaban activas al mismo tiempo. Cada célula debe ser activada y desactivada individualmente para servir únicamente a aquellas áreas en las que pueda existir tráfico celular. Esto así para conservar la energía del satélite.



Figura III.5
Cobertura del sistema Iridium

III.2.3 TERMINALES.

Los teléfonos móviles del sistema Iridium fueron diseñados para poder establecer comunicaciones con el sistema en cualquier lugar con cobertura. Dispone de un kit "manos libres" y una conexión para antena externa. (Figura III.6).



Figura III.6
Teléfono satelital Motorola sin antena

Los características más importantes son:

- Interfaz de rápido acceso.
- Menú corto de operación.
- Un equipo manual delgado de uso sencillo.
- Capacidad de redial automático.
- Notificación de correo de voz.
- Tarjeta lectora SIM integrada.
- Display gráfico LCD (4*16 caracteres).
- 100 posiciones de memoria numeradas.

III.2.4 CARACTERÍSTICAS DE LA SEÑAL DE ENLACE.

VELOCIDAD.

Full – Duplex, 2.4 kbps.
Datos/Facsimil.
2400 baudios

FRECUENCIAS DE ENLACES.

Cada satélite Iridium es capaz de interconectarse con sus cuatro satélites adyacentes. Se establecen enlaces cruzados de 23 GHz entre un satélite y otro. Estos enlaces cruzados interplanares conectan los anillos de satélites y varían el ángulo y la distancia desde el satélite dependiendo de la cantidad y la posición de los enlaces cruzados que están siendo mantenidos. Para mitigar este problema, se eligió una órbita polar circular con una inclinación de 86.4°. Además estos enlaces se encuentran en una latitud de 68°, ya que no se esperaba un gran tráfico en esta latitud.

Los enlaces con el satélite anterior y posterior eran los más fáciles de implementar, ya que estos permanecen a una distancia y en una dirección de visión fijas.

La asignación de frecuencias en el sistema Iridium es:

- a) Servicios de telefonía y mensajería: Banda L (entre 1.616 y 1.6265 MHz)
- b) Comunicaciones intersatélite: Banda Ka (entre 23.18 y 23.38 GHz).
- c) Segmento terrestre del enlace descendente a 19.4 GHz y la ascendente entre 29.1 y 29.3 GHz.

TIPOS DE ACCESO.

Aunque TDMA permite la compartición de un canal de comunicaciones por 8 usuarios, esto puede no ser suficientemente bueno. Todos los sistemas de satélites globales han de compartir el espectro de frecuencias, y desde el momento en que el espectro se halla saturado, tener más usuarios en un canal puede ayudar a solucionar los problemas. El multiplexaje por división en el código (CDMA) es un estándar que permite a más gente (que en el caso de TDMA) compartir un canal de comunicaciones. En particular, puede multiplicar por 3 la capacidad del sistema. Además, otra ventaja del CDMA es que un sistema que lo utilice puede compartir el mismo espectro de frecuencias con otro que también lo utilice. Esto no es posible con el TDMA.

III.2.5 PERSPECTIVAS DEL SISTEMA.

Número previsto de usuarios de telefonía celular en el año 2000: 650.000 (0,45% de un mercado estimado en 142 millones de usuarios).
Número previsto de usuarios del servicio de paging ("busca") en el año 2000: 350.000 (0,25% de un mercado estimado en 147 millones de abonados).
Previsión de clientes en el 2002: 400.000 en Europa y 42 millones potenciales en todo el mundo

III.2.6 TARIFAS

Precio del minuto: De 2 a 5 dólares.

III.2.7 ESTADO ACTUAL.

Esta red fue la primera en permitir una conexión por teléfono desde cualquier punto del planeta.

Sin embargo, el 21 de marzo del año 2000 la compañía satelital Iridium LLC, valorada en cinco mil millones de dólares, terminó declarándose en bancarota y enseguida entró en los libros de historia como uno de los fracasos empresariales más caros de todos los tiempos.

La compañía con sede en la ciudad de Washington D.C., indicó que cortaría las líneas telefónicas a sus más de 55 mil consumidores el viernes 17 de marzo del 2000 a las 23:59 hora local de Nueva York, como preludio de una orden judicial que declaró el cierre.

El cese de actividad de la compañía incluirá el fin de órbita y posterior destrucción, con la entrada planeada a la atmósfera, de los 66 satélites de la firma que se encuentran a más de 780 km de altura.

Dicha empresa desistió de seguir buscando un posible comprador que sacara a Iridium de la bancarrota.

Iridium operó bajo la protección judicial de sus acreedores desde agosto de 1999, menos de un año después de que su red se transformara en operativa el 01 de noviembre de 1998.

El fracaso fue considerado como consecuencia de una serie de cálculos empresariales erróneos.

A su cierre, la empresa que pensaba cambiar la forma en que se entiende la telefonía deja cerca de 150 millones de dólares en efectivo pero más de 3,000 millones de dólares de deuda.

Con la desactivación del servicio, la compañía inició un plan de destrucción de su red de 66 satélites, aunque Motorola, el mayor accionista de la empresa, consiguió transferir las propiedades de la fallida empresa a Iridium Satellite, que cerró un contrato con el Departamento de Defensa estadounidense, que es uno de los principales clientes del sistema, y gracias a empresas tales como BOEING que se ha hecho cargo de la estructura de satélites y la nueva tecnología que están implantando, han logrado resucitar la empresa.

III.3 ELLIPSO.

III.3.1 DESCRIPCIÓN.

El sistema ELLIPSO es un sistema de comunicaciones móviles por satélite con cobertura global, el cual ofrece un rango de servicios diversos: Internet, voz, mensajes, posicionamiento y otros servicios de valor agregado a precios familiares a usuarios de celulares hoy en día.

ELLIPSO esta diseñado en cuanto a la distribución mundial de la población, esto está realizado a través del uso de dos constelaciones de satélites coordinadas y complementarias: Borealis y Concordia, como se muestra en la Figura III.7.

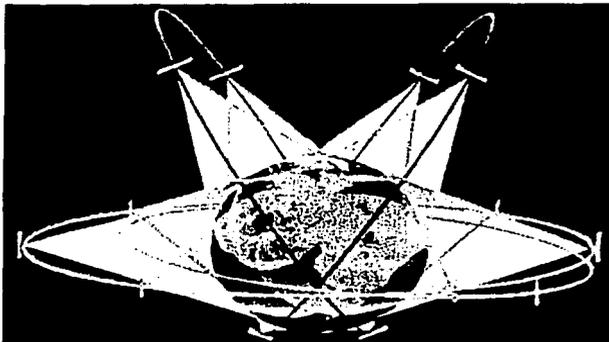


Figura III.7
Constelación de satélites Ellipso

III.3.2 CONSTELACIÓN SATELITAL.

Cada constelación ha sido cuidadosamente concebida para complementar las otras, así como para ofrecer siempre la más efectiva y eficiente solución para la cobertura mundial.

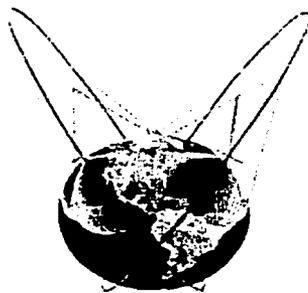
III.3.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL SATÉLITE.

ELLIPSO usa relativamente satélites de bajo costo, colocando la red inteligente en la estación terrena. Un satélite está compuesto de un sistema de estabilización triaxial, volantes de reacción y posicionadores de control de orientación, transpondedores, celdas solares, baterías de reserva que le permitirán operar durante eclipses solares y antenas de cuerpo fijo. El tiempo de vida de estos satélites es de 5 años, siendo capaces de mantenerse en operación durante más tiempo si es necesario.

III.3.2.2 ÓRBITA.

Los satélites ELLIPSO operan en latitudes MEO. La constelación Borealis (Figura III.8) usa 10 satélites en dos planos de órbita elíptica inclinados 116° , con un apogeo de 7,605 kilómetros con un periodo orbital de 3 horas. El complemento inicial de 7 satélites Concordia (Figura III.8) será distribuido en una órbita ecuatorial circular a una altitud de 8,050 kilómetros.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Borealis

TESIS CON
FALLA DE CALIDAD



Concordia

Figura III.8

III.3.2.3 COBERTURA.

Los satélites son desplegados en fases: con 4 satélites, después 3 más desplegados en la órbita ecuatorial Concordia, la cual cubre de 50° latitud sur a 50° latitud norte, aproximadamente $\frac{3}{4}$ de la población mundial. Después se agregan en dos planos orbitales elípticos de 5 satélites (Borealis) para sumar capacidad y completar la cobertura sobre los 50° norte.

La subconstelación Concordia provee cobertura desde 50° latitud sur hasta 50° latitud norte, con un foco sobre las áreas del trópico y del sur donde la cobertura de los satélites Borealis no alcanza.

III.3.3 TERMINALES.

Las terminales de usuario ELLIPSO son similares en forma y función que los teléfonos celulares. Serán similares en diseño y costo que los teléfonos que la gente usa hoy en día. Las terminales móviles ELLIPSO tendrán modo dual, los usuarios tendrán acceso en su red local celular la mayor parte del tiempo, accediendo al modo ELLIPSO cuando se encuentren fuera del área de cobertura o la red este congestionada.

ELLIPSO ofrecerá primeramente teléfonos vehiculares para negocios y uso industrial, incluyendo barcos, camiones, aviones y vehículos personales. Un bosquejo de una terminal ELLIPSO se muestra en la Figura III.9.



Figura III.9
Teléfono satelital proporcionado por Ellipso

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

III.3.4 CARACTERÍSTICAS DE LA SEÑAL DE ENLACE.

VELOCIDAD.

Velocidades de voz serán de 2400 bps, y la velocidad de transmisión de datos será más alta, soportando 28.8 kbps. Otros servicios de valor agregado incluyen mensajes y servicios de posicionamiento global.

FRECUENCIAS DE ENLACE.

La frecuencia del enlace son las siguientes:

Transmisión de la terminal al satélite	Banda-L	1,610.0 - 1,621.5	MHz
Transmisión del satélite a la terminal	Banda-S	2,483.5 - 2,500.0	MHz
Transmisión de la compuerta al satélite	Banda-Ku	15,400.0 - 15,700.0	MHz
Transmisión del satélite a la compuerta	Banda-C	6,720.0 - 7,025.0	MHz

TIPOS DE ACCESO.

ELLIPSO Utiliza transmisiones por Acceso Múltiple por División de Código (CDMA) para obtener la más efectiva capacidad para una red.

III.3.5 PERSPECTIVAS DEL SISTEMA.

El último incremento del sistema ELLIPSO original es ELLIPSO 2G. El cual provee 2 opciones, servicios de voz y datos, que será compatible con el sistema satelital ELLIPSO actual, pero tiene mucha mayor capacidad. La velocidad de la transmisión de datos se incrementará hasta 64 kbps.

En archivos de la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC), la constelación ELLIPSO 2G consistirá de 26 satélites no geostacionarios ordenados en 5 planos orbitales. Tres planos de 5 satélites estarán incluidos en órbitas elípticas. Un cuarto plano tendrá 6 satélites en una órbita ecuatorial circular y el quinto plano tendrá 5 satélites en una órbita ecuatorial elíptica.

ELLIPSO 2G operará en las siguientes bandas de frecuencia:

Transmisión de la terminal al satélite	Banda-S	1,990.0 – 2,025.0	MHz
Transmisión del satélite a la terminal	Banda-S	2,165.0 - 2,200.0	MHz
Transmisión de la compuerta al satélite	Banda-Ku	15,400.0 – 15,700.0	MHz
Transmisión del satélite a la compuerta	Banda-C	6,775.0 – 7,075.0	MHz

ELLIPSO está también usando una próxima generación de interfase aérea basado en tecnología inalámbrica 3G (3er generación). Esto ayudará a reducir los costos de las terminales y hacer más fácil ofrecer los más avanzados servicios inalámbricas.

III.3.6 TARIFAS

El diseño ELLIPSO es altamente eficiente y relativamente más barato, ya que los costos van desde 0.33 U.S.D. por minuto para una llamada.

III.4 GLOBALSTAR.

III.4.1 DESCRIPCIÓN.

El sistema GLOBALSTAR está basado en una constelación de 56 satélites divididos en ocho órbitas. Este sistema tiene una constelación y arquitectura similar a la Iridium, sin embargo carece de enlaces entre satélites, lo que hace necesaria la existencia de entre 100 y 200 estaciones terrenas que sirvan de interfaz con la red pública conmutada.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Globalstar es un sistema digital que nace en 1991 y está en operación a partir del año 2001, ofreciendo servicios de telefonía inalámbrica en áreas poco o no cubiertas actualmente por los sistemas de telecomunicación alámbrica o celular.

La Figura III.10 muestra las etapas por las que pasa una llamada:

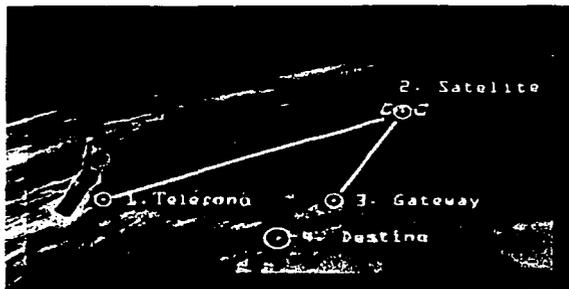


Figura III. 10
Comunicación vía satélite

III.4.2 CONSTELACIÓN SATELITAL.

El sistema Globalstar está formado por 48 satélites no geoestacionarios que operan junto con 8 satélites más de reserva.

III.4.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL SATÉLITE.

Están diseñados para minimizar costos de infraestructura y lanzamiento, por lo que no se comunican en el espacio. Por otra parte, proporcionan comunicaciones personales de alta calidad y bajo costo, reduciendo significativamente los retrasos de la transmisión y mayor cobertura.

Las principales características son:

- Peso 480 kg.
- Tiempo mínimo de vida 7.5 años.
- Requieren una potencia de 1100 W para poder funcionar.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

III.4.2.2 ÓRBITA.

Está basado en una constelación de satélites de órbita baja (LEO). Los 48 satélites operativos se encuentran divididos en ocho planos orbitales de 52° de inclinación y separados entre sí 45° , distantes 1416 km de la superficie terrestre. En cada plano hay 8 satélites equiespaciados 60° que tienen órbitas circulares, con un periodo orbital de 113 minutos. La constelación de satélites Globalstar se muestra en la Figura III. 11.

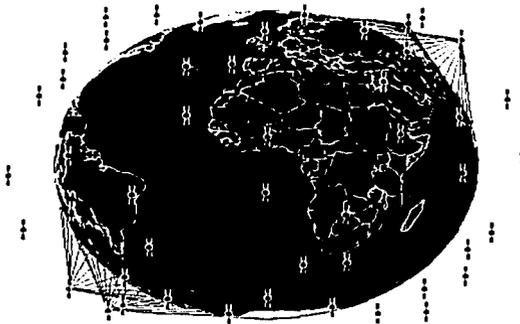


Figura III. 11
Constelación satelital Globalstar

III.4.2.3 COBERTURA.

La cobertura proporcionada es del 100% entre $+70^\circ$ y -70° de latitud, incluso con cobertura múltiple en zonas templadas donde se pueden utilizar más de tres satélites para una llamada en cualquier instante.

La cobertura del sistema satelital Globalstar se muestra en la Figura III. 12.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

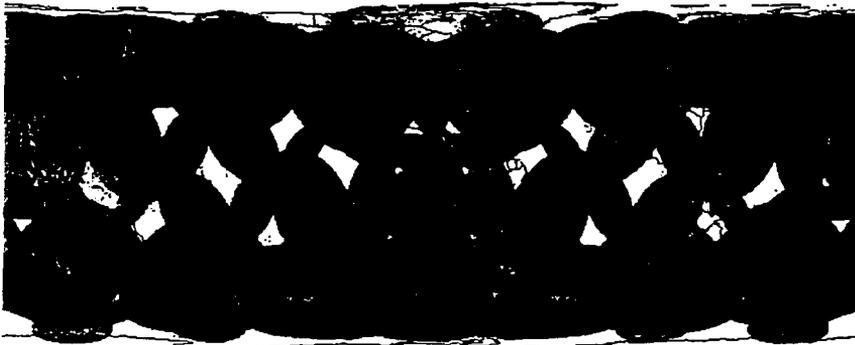


Figura III. 12
Cobertura del sistema Globalstar

Las superficies marcadas con mayor intensidad de gris representan la superposición de varios haces. Dentro de la zona que delimita la superficie de un solo haz, una terminal de usuario puede comunicarse con el satélite con un ángulo de elevación por encima de los 10° . Este alto ángulo de elevación provoca la reducción de la cobertura múltiple, pero hace que la terminal necesite menos potencia para establecer la comunicación. Por otra parte, un ángulo de elevación reducido permite proporcionar cobertura en los polos pero hace que las antenas empleadas tengan una elevada ganancia direccional.

III.4.3 TERMINALES.

Las terminales móviles están disponibles en equipos para vehículos con un auricular que se puede montar sobre una base que le provee de potencia aumentando la duración de la batería y permitiendo el sistema manos libres (mayor seguridad para el conductor). Esta base adaptadora tiene una mayor ganancia de antena, menor potencia de ruido, mayor potencia de R.F.

Para identificar al usuario se emplea un SIM (Subscriber Identification Module).

La función de inicio de una terminal de usuario ha de ser programable (cuando una terminal de usuario de doble funcionalidad se enciende, intentará acceder al sistema celular local y si esto no funciona lo haría al sistema Globalstar). La terminal de usuario busca la mejor señal piloto del satélite, cuando la encuentra conmuta al canal de sincronismo y obtiene la base de datos del satélite y otra información. Tras marcar, el usuario contacta con el Gateway a través del canal de acceso. Como los satélites están en movimiento, el usuario

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

está continuamente siendo iluminado por distintos haces del mismo satélite o incluso de diferentes satélites. La diversidad es transparente al usuario y proporciona una mayor confiabilidad. El proceso de Handover (conmutación de canal de comunicación entre celdas sin que se pierda el enlace de la llamada) se realiza sin interrupción de la llamada en curso, si el usuario se mueve en un área donde este bloqueado el acceso a un satélite, la diversidad de caminos mantiene la comunicación.

A continuación se muestran varias terminales Globalstar en la Figura III. 13.



Figura III. 13
Teléfonos satelitales proporcionados por Globalstar

III.4.4 CARACTERÍSTICAS DE LA SEÑAL DE ENLACE.

VELOCIDAD.

Voz: 2.4, 4.8 y 9.6 kbps
Datos: 7.2 kbps

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

FRECUENCIAS DE ENLACE.

Globalstar utiliza los siguientes cuatro segmentos separados del espectro de radiofrecuencia:

Enlace Usuario-Satélite	Banda L	1610.0-1626.5 MHz
Enlace Satélite-Usuario	Banda S	2483.5-2500.0 MHz
Enlace Gateway-Satélite	Banda C	5091.0-5250.0 MHz
Enlace Satélite-Gateway	Banda C	6875.0-7055.0 MHz

TIPOS DE ACCESO.

Uno de los componentes tecnológicos primordiales del sistema Globalstar es el uso de Acceso Múltiple por División de Códigos (CDMA) como plataforma de comunicación inalámbrica del sistema.

La ventaja en aprovechamiento del espectro de frecuencias que ofrece este sistema se traduce en un incremento de 8 a 12 veces en el tráfico que puede manejar cada canal con respecto a otras tecnologías y consecuentemente, en un significativo ahorro económico.

Qualcomm ha incorporado y adecuado la tecnología CDMA a los segmentos espaciales del sistema Globalstar, permitiéndole ofrecer a sus usuarios una calidad superior en las llamadas, alta confiabilidad, mayor confidencialidad, seguridad y cobertura, así como compatibilidad con los sistemas existentes.

III.4.5 PERSPECTIVAS DEL SISTEMA.

Una vez que entre en operación el sistema satelital de Globalstar, estarán a disposición los siguientes tipos de equipos:

- Fijos unimodales (Globalstar) con antena externa adaptables para telefonía pública.
- Móviles trimodales (AMPS/CDMA) que combinan el servicio celular con el satelital. Se podrá optar por la opción más económica dentro de las coberturas.
- Móviles unimodales, sólo para comunicación satelital.

III.4.6 TARIFAS.

El costo aproximado por minuto es entre 1.70 y 2.20 USD.

III.5 ICO.

III.5.1 DESCRIPCIÓN.

El sistema ICO integrará comunicaciones móviles satelitales con redes terrestres. Los teléfonos móviles Handheld ofrecerán servicios similares a los provistos por los teléfonos celulares normales. Además el sistema ICO entregará una prueba de alerta de llamada cuando el teléfono este dentro de una construcción. ICO también está desarrollando teléfonos especializados para los transportes marítimos y terrestres, construcciones residenciales, etc.

El sistema ICO consistirá en una segmento espacial y una red terrestre dedicada llamada ICONET, que proveerá el enlace entre los satélites y redes móviles.

El centro de control satelital (SCC) está localizado en Uxbridge, cerca de Londres y controlará el sistema ICO las 24 horas al día.

Para principios del año 2001, ICO empezó a ofrecer los servicios de voz, datos, mensajes y fax.

III.5.2 CONSTELACIÓN SATELITAL.

Los satélites se comunicarán con ICONET, el cual consta de 12 nodos de acceso satelital (SAN) localizados alrededor del mundo y enlazados a través de cables de alta capacidad. Cada SAN tiene cinco antenas para comunicación con satélites, los puntos de interconexión entre la red terrestre y la ICONET están también localizados en el SAN. ICONET seleccionará la ruta de la llamada que asegure la más alta calidad del servicio al cliente. Hughes Space and Communications International está construyendo los satélites.

III.5.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL SATÉLITE.

La masa del satélite es de aproximadamente 2600 kg. ICO construyó 12 satélites, permitiendo 2 respaldos.

III.5.2.2 ÓRBITA.

ICO opera con una constelación de satélites de órbita media (MEO) a 10,390 kilómetros sobre la superficie terrestre. Dividido equitativamente en dos planos ortogonales, cada uno inclinado a 45° del ecuador.

III.5.2.3 COBERTURA.

El patrón de la constelación ICO ha sido diseñado para proveer significativamente la cobertura global. Dos o más satélites estarán a la vista de ambos, (cliente y SAN), por más del 80% del tiempo en todas latitudes. Cada satélite podrá cubrir más del 25% de la superficie terrestre.

Con respecto al enlace y al número de haces, un total de 163 enlaces de transmisión y recepción con haces spot por satélite proveerán enlaces con terminales móviles y otras terminales.

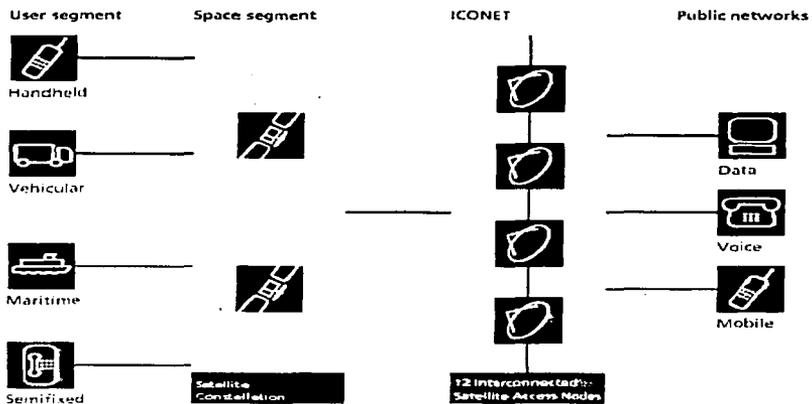


Figura III. 14
Funcionamiento del Sistema ICO



Figura III. 15
Satélite ICO

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

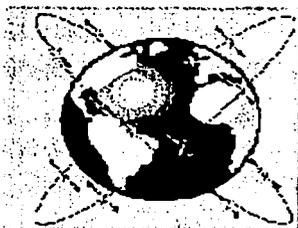


Figura III. 16
Constelación de satélites ICO

La vida útil de los satélites es de 12 años.

III.5.3 TERMINALES.

La gran mayoría de los usuarios de ICO contarán con teléfonos celulares portátiles capaces de operar en función multimodo (satélite y celular o PCS). Estas terminales son muy similares en tamaño, apariencia y en calidad de la voz a los teléfonos celulares portátiles/PCS actuales. El costo de los teléfonos multimodo ICO, se basará en el volumen de producción; sin embargo, se espera ofrecer precios similares a los de otros sistemas satelitales de órbita baja.

El promedio de la potencia de transmisión durante su uso no excede los 0.25 W.

Los teléfonos portátiles ICO, están diseñados para ofrecer características altamente competitivas; para ello se incluyó puertos de datos externos y memoria interna para el soporte de la comunicación de datos, mensajes, fax y el uso de tarjetas inteligentes (SIMs).

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Figura III.17
Terminales satelitales empleadas por ICO

III.5.4 CARACTERÍSTICAS DE LA SEÑAL DE ENLACE.

VELOCIDAD.

Voz: 4.8 kbps.
Datos: 2.4 kbps.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

FRECUENCIAS DE ENLACE.

Los satélites operarán en la Banda-S y Banda-C.
Las frecuencias son las siguientes:

Transmisión de la terminal al satélite	2,170.0 – 2,200.0 MHz
Transmisión del satélite a la terminal	1,980.0 – 2,010.0 MHz
Transmisión de la compuerta al satélite	5,150.0 – 5,250.0 MHz
Transmisión del satélite a la compuerta	6,975.0 - 7,075.0 MHz

TIPOS DE ACCESO.

Usaran un procesamiento digital y el Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA), lo que permitirá que los satélites puedan soportar hasta 4500 canales telefónicos.

III.5.5 PERSPECTIVAS DEL SISTEMA.

Con la tecnología usada en los teléfonos portátiles ICO se espera incorporar a un amplio número de usuarios finales; entre ellos se encuentra: vehicular, marítimo, aeronáutico, terminales móviles y semifijas o fijas; tales como las cabinas telefónicas rurales.

Además de sus oficinas en su centro de control, ICO ha programado el establecimiento de oficinas en Los Ángeles, así como representación regional en Beijing, Estambul, Londres, Miami, Moscú, Notario, Pretoria, Sao Paulo, Singapur y Washington DC.

III.5.6 TARIFAS.

El costo de los teléfonos multimodo ICO, se basará en el volumen de producción; sin embargo, se espera ofrecer precios similares a los de otros sistemas satelitales de órbita baja. Las tarifas por minuto, se esperan sean entre uno y dos dólares por minuto.

III.6 GPS

III.6.1 DESCRIPCIÓN

La localización y determinar una posición en la navegación, siempre han sido tareas importantes a través de la historia, y los métodos desarrollados han sido siempre complicados.

No fue sino hasta principios de los 70's del siglo pasado cuando el Departamento de la Defensa de Estados Unidos comenzó a diseñar un nuevo proyecto de localización mundial por medio de tecnología satelital. Con presupuesto de 12 mil millones de dólares se inicia este proyecto y en 1978 se lanza el primero de un total de 24 satélites de órbita media (MEO) de la constelación llamada NAVSTAR GPS. La idea era tener a estos satélites como *puntos de referencia* para calcular una posición sobre el globo terrestre. Aunque al principio el sistema fue sólo para propósitos de estrategia militar, posteriormente esta tecnología se brindó a la población civil en forma gratuita, pero con algunas "limitantes" (la aproximación).

En la actualidad, con la disminución en el tamaño y en el precio de los receptores GPS, se contribuye a que esta tecnología esté al alcance de todos.

GPS (Global Positioning System) es un sistema mundial de localización constituido por una constelación de satélites, cada uno de ellos dotado con relojes atómicos, computadoras, emisores y receptores de radio y por estaciones terrenas que monitorean constantemente a cada uno de los satélites. Los receptores GPS utilizan a estos satélites como puntos de referencias para calcular la latitud, longitud, altitud - con aproximaciones en el orden de metros, inclusive centímetros- , velocidad y tiempo exacto.

III.6.2 CONSTELACIÓN SATELITAL.

Actualmente existen dos sistemas GPS, uno de ellos es de Estados Unidos de América y el otro del Gobierno Ruso. Ambos son similares en operación y características de satélites. El segmento espacial NAVSTAR GPS está constituido por una constelación de 24 satélites localizados a 20,200 km. de la superficie de la tierra. La tabla I, describe la constelación NAVSTAR GPS y la constelación de satélites GLONASS (Global Navigation Satellite System) del Gobierno Ruso. Los satélites son una parte esencial ya que estos son los que emiten constantemente las señales hacia los receptores GPS, cubriendo todo el globo terrestre.

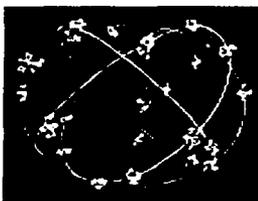


Figura III.18
Constelación de satélites

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

III.6.3 CARACTERÍSTICAS DEL GPS.

Tabla I. Características de las constelaciones NAVSTAR y GLONASS		
Característica	NAVSTAR GPS	GLONASS
Compañía Impulsora	Departamento de Defensa de EUA (NAVSTAR Systems Ltd)	Gobierno Ruso
Número de satélites	24 en 6 planos orbitales	24 en 6 planos orbitales
Tipo de órbita	Media (20,200 km.); inclinación 63° ; período de 12 hrs.	Media (19,200 km.) en 6 planos orbitales; inclinación 64.8°; período de 11 hrs. 15 min.
Frecuencias	Banda L (L1=1.57542, L2=1.2276 GHz)	Banda L (L1=1.609 GHz, L2=1.251 GHz)
Método de acceso	CDMA (Espectro Esparcido)	CDMA (Espectro Esparcido)
Vida útil aprox.	7.5 años	7.5 años

III.6.4 TERMINALES.

El segmento del usuario consiste de receptores GPS que proporcionan casi instantáneamente la posición, altitud, velocidad y tiempo preciso al usuario desde cualquier parte del mundo las 24 horas del día. Estos receptores calculan la posición por medio de señales simultáneas desde tres o más satélites que estén a la vista del receptor GPS. Los receptores varían en precios, tamaños y precisión, desde los más sencillos como los que se usan para la localización de vehículos o los más sofisticados, como los que encuentran en los tableros de los aviones. Los precios de los receptores varían dependiendo de la precisión que estos ofrezcan, varían desde los \$100 dólares los más simples, hasta los 40,000 dls. los más sofisticados. Cuando se requiera comprar algún receptor GPS se recomienda que tenga un número adecuado de canales. Los receptores de un sólo canal buscan su posición por medio de señales emitidas constantemente hacia el espacio buscando las señales de los satélites. Tan pronto como éstos sean localizados, el receptor proporciona cálculos de localización y la precisión es determinada por la rapidez con que el receptor pueda encontrar las señales de los satélites. Existen algunos receptores que cuentan con 5 canales, de los cuales 4 rastrear satélites para tener una constante localización por aquello de que algún canal sea bloqueado. Existen receptores aún más sofisticados que cuentan con 12 canales.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Otro factor importante es la re-adquisición rápida de la señal del satélite, que es el tiempo en el que el receptor tarda en adquirir la señal y poder hacer un cálculo rápido de localización. Receptores con estas características es posible encontrarlos a un precio cercano a los \$500 dólares.



Figura III. 19
Terminal de GPS.

Hay dos tipos de receptores a considerar:

- Los pequeños y ligeros, que observan en posicionamiento absoluto.
- Los topográficos, mayores, que exigen un estacionamiento más preciso, observando un posicionamiento relativo.

III.6.5 PERSPECTIVAS DEL SISTEMA.

Las aplicaciones de GPS son muy diversas, éstas se pueden clasificar en cinco categorías: *localización, navegación, rastreo, cartografía y tiempo exacto*. En aplicaciones de localización - determinar una posición - las más empleadas son para la localización de vehículos. Dado el alto índice de robos de vehículos, algunas compañías fabricantes de automóviles y compañías aseguradoras han empezado a instalar este tipo de aparatos en lugares ocultos dentro de los automóviles. También muchos de los taxis y camiones de carga utilizan GPS en sus vehículos para que estos sean localizados desde sus oficinas.

La navegación - obtener una posición a partir de la anterior - es una aplicación que requiere de mucha precisión, razón por la cual las compañías de aviación utilizan GPS para guiar a las aeronaves en climas inhóspitos así como para su despegue y aterrizaje.

El rastreo también es otra aplicación muy importante, por ejemplo algunas compañías de flotas de vehículos utilizan un programa de computadora provisto con un mapa de una ciudad o de una región, para rastrear todos sus vehículos. Algunas universidades y centros de investigación les ponen unos diminutos receptores GPS a animales en peligro de extinción o aves para conocer y estudiar sus trayectorias.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La cartografía es otra aplicación de mucha importancia dentro de las aplicaciones de GPS, al determinar con precisión la posición de ríos, bosques, montañas, carreteras y otros puntos es posible la elaboración de mapas muy precisos; con la ayuda de otras técnicas como la fotogrametría, topografía y planimetría es posible la elaboración de sistemas de información geográfica.

El tiempo exacto que nos brinda el sistema GPS, es utilizado por las cadenas nacionales de televisión para sincronizar las transmisiones a nivel nacional y para sincronizar los comerciales y programas. La puesta en órbita de satélites es otra aplicación que requiere de una finísima precisión debido a que se necesita poner un satélite en una posición exacta en un tiempo exacto, y evitar así posibles colisiones.

Las aplicaciones de tipo militar también son muy vastas, fue el principal motivo por lo que GPS se concibió. En la pasada guerra del golfo pérsico conocida como *la tormenta del desierto*, fue una prueba de fuego para el Departamento de Defensa de Estados Unidos para probar sus sistemas de localización. El sistema GPS se utiliza en la milicia para determinar la distribución adecuada de tropas en tierra, aviones, barcos, submarinos, tanques, etc., también para guiar misiles para la destrucción de objetivos. Los misiles *Patriot* que usaron las tropas estadounidenses para la destrucción de los misiles de Irak, es un claro ejemplo de la utilización al máximo del GPS.

Existen muchas aplicaciones más benéficas de la utilización de este sistema de localización; con GPS es posible guiar ambulancias, bomberos, policía o grupos de rescate para que estos lleguen en cuestión de minutos al sitio donde está la emergencia. Con GPS es posible que personas invidentes puedan guiarse dentro de una ciudad, apoyándose en una detallada base de datos dentro del receptor.

Otras áreas de aplicación de la tecnología GPS es la agricultura, minería, arqueología, construcción, exploración, cinematografía, pesca deportiva, entre otras.

Con el lanzamiento de los satélites de órbita baja (LEO) y su puesta en operación en el transcurso de estos años, como por ejemplo Iridium, Globalstar, Orbcomm, Teledesic, Ellipso, entre otros, habrá más opciones para aplicaciones en el área de la determinación de la posición.

El futuro de esta tecnología es muy prometedor, todos de alguna manera nos vamos a ver beneficiados por las bondades del sistema mundial de localización.

III.7 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS SATÉLITES DE ÓRBITA NO GEOESTACIONARIA

Tabla comparativa entre sistemas de órbita no geoestacionaria.

III.7.1 SERVICIOS Y COSTOS

	Teledesic	Iridium	Ellipso	Globalstar	ICO
Tipos de servicios	Voz, datos, fax, paging, video	Voz, datos, fax, paging, mensajería, posición	Voz, datos, mensajes cortos, posición e Internet	Voz, datos, fax, paging, servicio de mensajes cortos, posición	Voz, datos, fax, paging
Voz (kbps)	16	2.4 / 4.8	2.4	Adaptativo 2.4 / 4.8 / 9.6	4.8
Datos (kbps)	16 – 2048	2.4	2.4 – 28.8	7.2	2.4
Modulación	---	QPSK	---	QPSK	QPSK
Modo dual	No	Sí	Sí	Sí	Sí
Costo de la terminal móvil USD	---	2500 – 3000	---	750	---
Vida útil del satélite en años	10	5	5	7.5	10
Costo de la llamada por minuto	0.04 USD para 16 kbps	2 – 5 USD	0.33 USD	1.5 – 1.75 USD	1 – 2 USD
Año de Operación	2007	1998	2000	1998	2000

TESIS CON
FALLA DE CALIFICACIÓN

III.7.2 ÓRBITAS.

	Teledesic	Iridium	Ellipso	Globalstar	ICO
Tipo de órbita	LEO	LEO	HEO – MEO	LEO	MEO
Altitud (km)	695-705	780	7,846 / 520 – 8,050	1416	10355
Número de satélites	288	66	10 – 6	48	10
Número de planos orbitales	12	6	2 – 1	8	2
Inclinación	98.16°	86.4°	116°	52°	45°
Angulo de elevación mínimo de la terminal móvil	40°	8.2°	---	10°	10°
Retardo mínimo de propagación del enlace móvil-satélite	2.32 ms	2.60 ms	---	4.63 ms	34.5 ms
Retardo máximo de propagación del enlace móvil-satélite	3.40 ms	8.22 ms	38.7 ms	11.5 ms	48 ms
Número de estaciones terrenas	---	15-20	---	100-200	12
Cobertura	Global	Global	Dentro de una latitud de 50° hacia el sur	Dentro de una latitud de +/- 70°	Global
Método de acceso	MF TDMA / ATDMA	CDMA	CDMA	CDMA	TDMA
Número de haces por satélite	64	48	61	16	163

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

III.7.3 FRECUENCIAS Y OTROS.

	Teledesic	Iridium	Ellipso	Globalstar	ICO
Frecuencia del enlace de bajada a la terminal móvil	Banda Ka	1616.0 – 1626.5 MHz Banda L	2483.5 – 2500.0 MHz Banda S	2483.5 – 2500.0 MHz Banda S	1980 – 2010 MHz
Frecuencia del enlace de subida de la terminal móvil	Banda Ka	1616.0 – 1626.5 MHz Banda L	1610 – 1621.5 MHz Banda L	1610.0 – 1626.5 MHz Banda L	2170 – 2200 MHz
Potencia de emisión del satélite	---	1400 W	---	1000 W	2500 W
Masa del satélite	700 kg.	780 kg.	500 kg.	450 kg.	2000 kg.

III.8 INMARSAT.

III.8.1 DESCRIPCIÓN.

Inmarsat como organización internacional fue establecida en 1979 para proveer comunicaciones móviles por satélite en todo el mundo para la comunidad marítima, tal y como su nombre indica (INternational MARitime SATellite Organization). En 1985 extiende su campo de actuación al servicio aeronáutico por satélite y en 1989 al servicio móvil terrestre por satélite. En la actualidad se ha convertido en el único proveedor de comunicaciones móviles a nivel mundial para aplicaciones de tipo comercial, de emergencia y de seguridad, usándose indistintamente en tierra, mar y aire.

Dependiendo de la función requerida por el usuario, Inmarsat ofrece cuatro tipos de servicios básicos, que componen los estándares Inmarsat-A, Inmarsat-B, Inmarsat-C, Inmarsat-D, Inmarsat-E e Inmarsat-M.

La red Inmarsat se compone básicamente de cuatro elementos:

- Estaciones Terrenas Costeras (CESS),
- Estaciones Terrenas de Barcos (SESS),
- Estaciones Coordinadoras de Red (NCSs. una por cada región) y,
- El segmento espacial.

TESIS CON
FALLA DE COPIEN

El sistema Inmarsat contaba en 1996 con 49 países afiliados y con 11 satélites y es una de las organizaciones con cobertura en todo el mundo.

III.8.2 SERVICIOS.

A través de Inmarsat el usuario puede disfrutar en un ámbito mundial de los servicios básicos de comunicación tales como:

- Telefonía.
- Telex.
- Fax.
- Transmisión de datos a varias velocidades.

Junto a estos servicios, aparecen una serie de aplicaciones que facilitan las necesidades de comunicación de zonas donde la instalación de una red telefónica no es posible o resulta inviable.

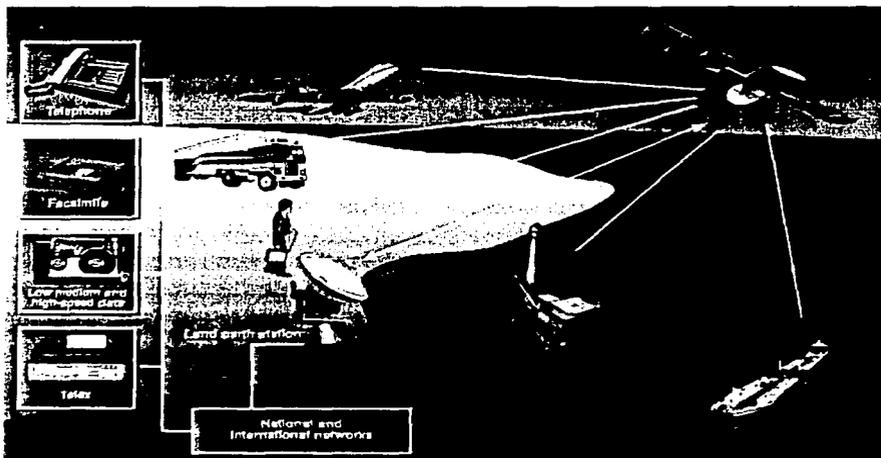


Figura III. 20
Inmarsat

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

III.8.3 CONSTELACIÓN SATELITAL.

El segmento espacial está constituido por cuatro satélites operacionales geoestacionarios de propiedad de Inmarsat y otros de reserva alquilados a la Agencia Espacial Europea, COMSAT e INTELSAT. En conjunto se dispone de un satélite operacional y al menos uno de reserva para cada una de las cuatro regiones oceánicas nominales en las que se divide el globo terráqueo

Los centros de control de satélites (CCS) son responsables del control de los diferentes satélites en servicio y se encuentran localizados en Darmstadt (Alemania), Washington y Londres.

III.8.3.1 CARACTERÍSTICAS DEL SATÉLITE.

El tiempo de vida útil de un satélite geoestacionario empleado por el sistema de Inmarsat es aproximadamente de 7 años. La posición orbital en un satélite de INTELSAT V es de 63 ° E; 18.5° O. Con una masa inicial de 1870 kg. La capacidad es de 35 canales de voz.

III.8.3.2 ÓRBITA.

Los satélites Inmarsat usan órbitas estacionarias a 36 000 Km. de altura en el plano del Ecuador.

III.8.3.3 COBERTURA.

Cada satélite proporciona una cobertura a un tercio de la superficie terrestre y está estratégicamente posicionado sobre una de las cuatro regiones oceánicas. Por otro lado, como la división de la superficie terrestre en regiones es la misma para cada subred, los satélites ubicados en una región oceánica proveen servicios a todas las subredes (es decir Inmarsat A, B, C, etc...).

La cobertura del sistema se divide en cuatro regiones :

- 1.- AOR-W (Región del Océano Atlántico Oeste)
- 2.- AOR-E (Región del Océano Atlántico Este)
- 3.- IOR (Región del Océano Indico)
- 4.- POR (Región del Océano Pacífico)

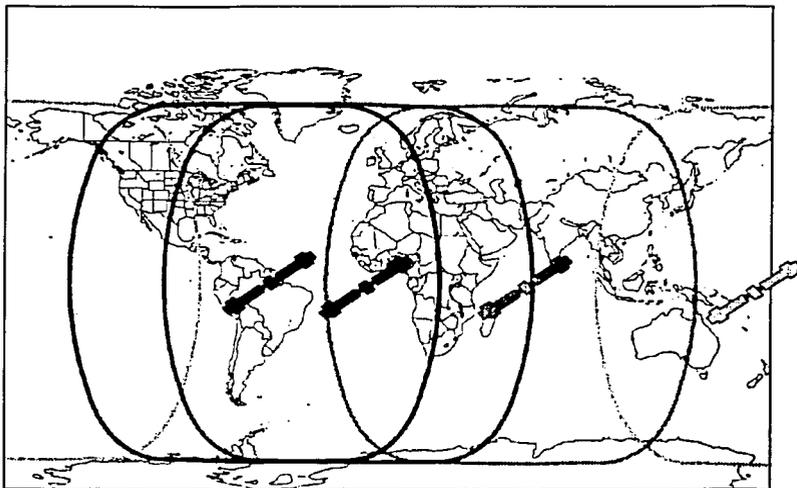
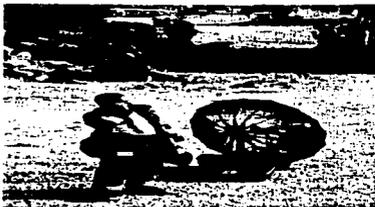


Figura III. 21
Cobertura del Sistema Inmarsat.

III.8.4 TERMINALES.



INMARSAT A

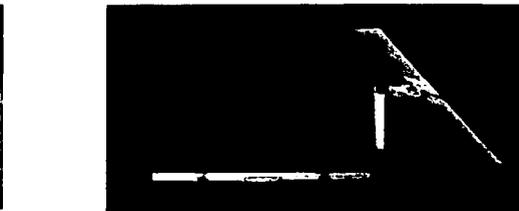
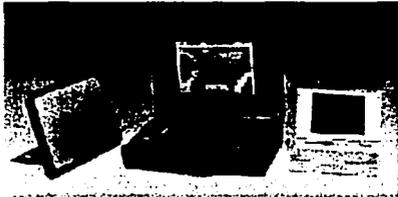


Figura III. 22

INMARSAT B

TESIS CON
FALLA DE CALIFICACION



INMARSAT M

Figura III. 23



INMARSAT C

III.8.5 CARACTERÍSTICAS DE LA SEÑAL DE ENLACE.

VELOCIDAD.

INMARSAT A	64 kbps
INMARSAT B	64 kbps
INMARSAT C	600 bps
INMARSAT D	600 bps
INMARSAT E	64 kbps
INMARSAT M	600 bps
INMARSAT P	2.4 kbps servicio de datos



FRECUENCIAS DE ENLACE.

La comunicación a través de la red de satélites de Inmarsat se establece entre cualquier teléfono fijo y un terminal móvil, o entre dos terminales móviles por medio de la estación terrena fija (ETF) seleccionada. Para que esto ocurra son necesarios cuatro enlaces, que operan a las siguientes frecuencias:

- Enlace ETF-satélite, en la banda C a 6 GHz.
- Enlace satélite-móvil, en la banda L a 1.5 GHz.
- Enlace móvil-satélite, en la banda L a 1.6GHz
- Enlace satélite-ETF, en la banda C a 4 GHz.

III.8.6 PERSPECTIVAS DEL SISTEMA.

Forma parte del Proyecto 21 de Inmarsat desarrollado por la empresa ICO y pretende constituirse en un sistema global de servicios mundiales de satélite para teléfonos de bolsillo, basándose en una constelación de satélites tipo MEO que entrará en servicio a principios de esta década.

El teléfono portátil de Inmarsat-P permitirá el envío de fax, datos, funciones de búsqueda y localización y tendrá capacidad de conmutación con redes celulares terrestres compatibles, esto es, pondrá operar como teléfono celular normal en el registro de un sistema celular terrestre compatible, y cuando no, como teléfono por satélite.

III.8.7 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS INMARSAT.

Terminal	A	B	C	M (MAR)	M (TERR)	Aero VOZ	Aero DATOS
Servicio	SMMS-SMSTS	SMMS-SMSTS	SMMS-SMSTS	SMMS	SMTS	SMAS	SMAS
Tipo de antena móvil	Parabólica	Parabólica	Hélice cuadrifilar	Retrodispers. corta	Red lineal	Red de fase	Hélice cuadrifilar
Tamaño típico de antena de EM	1 m. Diámetro	1 m. Diámetro	5 cm diámetro	40 cm diámetro	60 x 9 cm	50 x 50 cm	10 x 10 cm
Velocidad de transmisión de datos (usuario)	2400 bit/s	9600 bit/s	600 bit/s	2400 bit/s	2400 bit/s	9600 bit/s	300 bit/s
Tipo de modulación	FM, desviación 12 kHz	24 kbit/s, MDP-4	1200 bit/s, MDP-2	8 kbit/s, MDP-4	8 kbit/s, MDP-4	21 kbit/s, MDP-4	600 bit/s, MDP-4

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO 4 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN MÓVIL TERRESTRE.

IV.1 CLASIFICACIÓN DE SISTEMAS DE RADIO COMUNICACIÓN MÓVIL.

Se entiende que un enlace de radiocomunicaciones móviles es cualquier enlace de comunicación entre dos terminales, en las cuales una o ambas pueden estar en movimiento. En la mayoría de los casos, una de estas terminales está fija, tal como la estación terrena base. Por una terminal móvil nos podemos referir a vehículos terrestres, marítimos, aéreos y/o satélites de comunicaciones.

Los sistemas de radio móvil pueden clasificarse de la siguiente forma:

- Radiófonos: los cuales son radios que permiten la comunicación en ambos sentidos, como por ejemplo los radios de banda civil, sólo que estos sistemas no permiten tener privacidad en la comunicación.
- Sistemas de Despacho: los cuales utilizan sólo un canal de comunicación común, es decir, cualquier suscriptor puede escuchar el mensaje del despachador, sin embargo los suscriptores no pueden tener comunicación entre sí, solamente con el despachador, tal es el caso de algunos sistemas utilizados en los departamentos de policía.
- Sistemas de Radiobúsqueda: en los cuales los usuarios portan receptores personales. Cada receptor reacciona sólo a señales dirigidas hacia él por un operador.
- Sistemas de Radio móvil por Paquetes: los cuales utilizan técnicas de acceso múltiple y permiten a varios dispositivos transmitir en el mismo canal de radio sin interferir con otras comunicaciones. Estos sistemas tienen como principal ventaja sobre los sistemas tradicionales de transmisión por paquetes que no son dependientes de topologías fijas, son fáciles de establecer y pueden operar sin la atención de un operador. Estas características permiten a terminales móviles conectarse a una gran variedad de dispositivos de cómputo, sensores, etc.
- Radio Teléfonos: los cuales incluyen sistemas de radiotelefonía móvil tradicionales, así como también los nuevos sistemas celulares.

SISTEMAS CONVENCIONALES DE RADIO MÓVIL.

En los sistemas convencionales de radio móvil se seleccionan una o más regiones del espectro de frecuencia disponible para usarse en zonas geográficas autónomas. Por lo que el área que ha de cubrirse se planifica para que sea lo más grande posible. Un usuario que comienza una llamada en una zona debe reiniciar la llamada cuando se traslada a una zona distinta, ya que cada una de las áreas son independientes.

En este tipo de sistemas, el número de usuarios que pueden tenerse activos en un momento dado está limitado al número de canales asignados a la zona. Esta zona puede cubrirse en un radio de 30 a 35 km del transmisor; sin embargo la señal puede causar interferencias perceptibles entre 90 y 150 km de la estación transmisora, lo que implica que

otro transmisor que utilice la misma frecuencia debe estar bastante separado. Todo lo anterior redundando en una baja eficiencia el uso del espectro y a pesar de lo costoso del servicio, el número de usuarios que puede atenderse es muy limitado.

La necesidad de operar y crecer sustancialmente con unos cientos de canales permitidos han sido las principales fuerzas que empujaron la evolución hasta sistemas de tecnología celular.

IV.2. RADIOTELEFONÍA CELULAR.

CELULAR

El concepto de comunicación celular es el uso de áreas pequeñas de servicio denominadas células. Esta es la primera característica de la comunicación celular, la división de un área en pequeñas celdas, cada una alimentada por un transmisor de baja potencia, con frecuencias siendo reusadas en la "cercanía", permitiendo un número mayor de unidades móviles.



NEC 920



Star TAC 6500



Nokia 5180

Figura IV.1
Modelos de Celulares

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

IV. 2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA TELEFONÍA CELULAR.

La radiotelefonía celular surgió como un avance importante de la radiotelefonía tradicional, la cual mantiene conceptos de la red muy similares a los de la red telefónica pública, con la excepción de que el acceso a la red por parte del usuario es por medio de un canal de radio, con sus equipos terminales correspondientes.

Durante la Primera Guerra Mundial los sistemas de radiocomunicación móvil tuvieron un uso muy limitado, fue hasta 1921 cuando se instaló el primer sistemas de radiotelefonía móvil por el Departamento de Policía de la ciudad de Detroit en los Estados Unidos, el cual consistía en un sistema de despacho y operaba en la banda de los 2 MHz; sin embargo, en la medida que los adelantos tecnológicos y la demanda de servicio fueron aumentando, se inició la tendencia hacia el uso de mayores frecuencias.

En la década de los cuarentas se instalaron nuevos sistemas comerciales en las bandas de los 33 MHz y 150 MHz, sólo que la operación de estos sistemas fue en un solo sentido y se requería de un operador de teléfono para poder colocar la llamada.

Hacia mediados de la década de los sesentas se tienen nuevos sistemas en la banda de los 150 MHz con operación bidireccional, búsqueda automática de canales y marcación de y hacia la estación móvil. Sistemas semejantes se tuvieron hacia finales de esta década en la banda de los 450 MHz.

En 1978 en la ciudad de Chicago, Estados Unidos, comenzó a instalarse en su fase experimental el sistema AMPS (Advanced Mobile Phone Service), en la banda de los 900 MHz, disponiendo de 666 canales como capacidad total. Este sistema, el cual es ya un sistema celular, cubrió en su fase experimental una extensión aproximada de 5,400 km² con 10 células y 136 canales para 2,000 usuarios y después de instaló en 1983 en forma comercial con los 666 canales y con una capacidad de 30,000 usuarios, siendo la primera red celular comercial instalada en Estados Unidos.

Paralelamente se instaló en Europa el primer sistema celular experimental en la banda de los 450 MHz, denominándolo NMTS (Nordic Mobile Telephone System). Este sistema entró en operación comercial en 1981 cubriendo gran parte de los países nórdicos, expandiéndose este mismo sistema en otros países europeos.

En Japón se instaló el primer sistema celular en 1979, en la banda de los 900 MHz.

El servicio para el que inicialmente fue concebida la radiotelefonía celular fue similar al de la telefonía por medio de la red telefónica pública, es decir, comunicaciones de voz, pero con esquemas de acceso similares a los de la radiotelefonía tradicional, por medio de canales de radio. Las ventajas que se esperaban de la telefonía celular tendría sobre la red telefónica tradicional son:

- a) Los equipos terminales son portátiles y no requieren de un enlace de cable para tener acceso a la red telefónica.
- b) Un equipo terminal puede desplazarse dentro del área de cobertura sin interrumpir la comunicación.
- c) Por medio de un equipo de telefonía celular se pueden establecer conversaciones con equipos telefónicos conectados a la red telefónica tradicional.
- d) El número de usuarios de una red puede aumentar casi sin límite, debido a la posibilidad de reutilizar frecuencias, de reducir tamaños de células y de explotar adecuadamente las complejas técnicas de codificación.

La tecnología celular es diferente de los conceptos que la precedieron, al menos en lo referente a la posibilidad de reutilizar frecuencias. Con sistemas convencionales de radio, el objetivo era tener la mayor cobertura posible con cada una de las estaciones fijas, usando antenas montadas en altas torres, con potencias de transmisión grandes. A cada estación le corresponde un grupo de canales y la configuración del sistema no cambia a lo largo del tiempo. Con las redes celulares las potencias radiadas por las estaciones base se mantienen al mínimo, de manera tal que, en combinación con antenas localizadas a las alturas mínimas, se pueda garantizar la cobertura deseada con la calidad requerida. Con ello se logra que muchas células adyacentes usen las mismas frecuencias sin interferir las transmisiones de unas con las de otras.

Este revolucionario concepto está basado en las siguientes ideas: un canal de radio para una conversación telefónica consiste en un par de frecuencias, una para cada dirección de envío (base a móvil y móvil a base). Se insiste en que las células adyacentes tienen que utilizar distintas frecuencias, ya que en caso contrario, habría interferencia entre las conversaciones que las usarán.

IV. 2.2 REUSO DE FRECUENCIAS.

Debe estar claro que células geográficamente separadas, "en teoría", sí pueden emplear los mismos conjuntos de frecuencias sin que haya un efecto perjudicial entre las conversaciones que las usen. La limitante que existe en cuanto al número de usuarios del servicio en una célula se debe a la cantidad de frecuencias que se tienen asignadas en esa célula. Sin embargo, si se reduce el tamaño de las células, lo cual equivale a reducir el área de cobertura de las mismas (esto se logra reduciendo la potencia transmitida, la altura de las antenas de las bases o ambas) se puede aumentar el número total de usuarios de una red, debido a que, si bien el número de usuarios por célula no aumenta, si se incrementa el número total de células.

En los sistemas celulares el área total donde se presta el servicio se divide, en concepto, en un conjunto de polígonos, a los que se les llama celdas. Cada celda tiene su propio equipo para transmitir y recibir, estación base, hacia y desde los móviles. Aunque un sistema celular podría usar celdas cuadrangulares o rectangulares (las cuales no tienen traslapes), se han escogido celdas de forma hexagonal porque permiten cubrir un área mayor con número menor de estaciones base. La estación base de cada celda puede colocarse en:

1. En el centro de cada celda: utiliza antenas omnidireccionales para comunicarse con los móviles, o
2. En las esquinas de los hexágonos: utiliza antenas direccionales con un ancho del lóbulo de radiación de 120° , que permiten cubrir parte de tres celdas adyacentes.

A cada celda se le asigna un número fijo de canales. Puesto que cada estación base, cubre sólo una celda, el grupo de canales asignado a cada celda puede usarse en otra celda cuando están separados por una distancia adecuada. Esta técnica se conoce como re-uso de frecuencias. Entonces, en lugar de cubrir el área total mediante un transmisor de gran potencia y situado a una gran elevación, se puede proporcionar el servicio mediante varios transmisores de potencia moderada distribuidos de manera adecuada en toda el área. Esto permite un incremento en la capacidad del sistema.

El número por el que está compuesto un grupo es de típicamente 7 celdas cuando se utilizan antenas omnidireccionales en la estación base. Se supone que la forma de las celdas es hexagonal, como se muestra en la Figura IV.2.

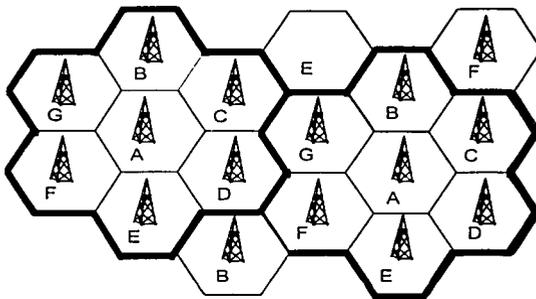


Figura IV.2
Sistema de telefonía celular.

Conforme la terminal móvil se va alejando del rango de cobertura de la celda, el nivel de señal recibida va disminuyendo, esto es detectado por la terminal la cual conmuta el enlace hacia otra estación base. Esto se conoce como handoff o handover.

IV. 2.3 TRANSFERENCIA DE LLAMADA.

Un móvil a que se le da servicio puede trasladarse por toda el área de servicio y su comunicación no debe interrumpirse. Para que se logre esto, cada vez que el móvil pase de

una celda a otra, la llamada debe ser transferida de la estación base perteneciente a la celda que está sirviendo al móvil a la estación base de la celda a la que se esté pasando. (Figura IV.3)

El propósito principal de la transferencia de llamada es el de asegurar una relación señal a ruido adecuada durante todo el lapso de la llamada, además el mecanismo de transferencia de llamada tiene un efecto pequeño en la interferencia entre canales de la misma frecuencia, puesto que ésta se controla principalmente por la separación física de las celdas que utilizan el mismo grupo de frecuencias.

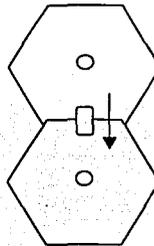


Figura IV.3
Transferencia de llamada

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

IV. 2.4 UTILIZACIÓN DEL ESPECTRO EN SISTEMAS CELULARES.

Muchos sistemas celulares actualmente en operación trabajan en la banda de los 900 MHz y poseen alrededor de 666 canales disponibles. Sin embargo, muchas administraciones de telecomunicaciones en el mundo han considerado adecuado dar en concesión el servicio a dos sistemas por zona, con la mitad de canales del espectro a cada sistema, tales bandas son las siguientes:

Banda	Móvil (MHz)	Base (MHz)
A	824-835, 845-846.5	869-880, 890-891.5
B	835-845, 846.5-849	880-890, 891.5-894

Cada una de las bandas, está dividida en canales que ocupan 30 kHz cada uno, por lo cual, en cada banda caben 333 canales (o conversaciones simultáneas). En cada región pueden haber cualquier cantidad de células, siempre y cuando no sean utilizados los

mismos canales en células adyacentes. Estos canales funcionan como acceso a la red para los usuarios, por medio de equipos terminales que son teléfonos portátiles, consistentes en una unidad de control, un radio receptor, un radio transmisor y su antena.

IV. 3 SISTEMAS DE RADIOBÚSQUEDA (RADIO-PAGING)

Los sistemas de radio búsqueda, conocidos como radio-paging, están diseñados para resolver problemas de comunicación en cualquier instante y hacia todo lugar o persona.

Un sistema de radiobúsqueda es fundamentalmente un sistema de llamadas unidireccionales, de señalización selectiva y sin transmisión de voz.

Se dice que la radio búsqueda es la aplicación más rentable y popular de las comunicaciones móviles, puesto que el usuario puede atender una llamada cuando más le conviene, en lugar de sentirse aprisionado por ella, por lo que los receptores de radio búsqueda (pagers) en general no suscitan oposición a su uso.

IV. 3.1 ANTECEDENTES.

El primer sistema de radio búsqueda fue introducido en 1957 y usaba frecuencias en el intervalo de 30 a 50 kHz, principalmente para llamadas a médicos y enfermeras.

Cada receptor era sintonizado simplemente a su propia frecuencia portadora y para poder restringir el intervalo en el espectro de frecuencias se utilizaron técnicas llamadas de "lazo inductivo". Debido al incremento de usuarios se introdujo la modulación en frecuencia de una portadora a 40 kHz. El área de cobertura de estos sistemas permitía sólo operación local, pero durante los años sesentas y setentas su uso se expandió con rapidez, localizándose en las bandas de 27 a 42 MHz y 470 MHz. La separación entre canales cambió de 25 a 10 kHz en la banda VHF con modulación en amplitud y se mantuvieron en 25 MHz en la banda VHF con modulación de frecuencia. Todavía en 1977 los sistemas de señalización se basaron en secuencias de tonos en la banda de frecuencias de 500 Hz a 3 kHz, en la actualidad existen varios sistemas de señalización digital diferentes, sin lograr compatibilidad entre equipos de diversos fabricantes.

El sistema de radiobúsqueda local fue un sistema de comunicación comúnmente de baja capacidad, desde 20 usuarios por sistema hasta un máximo de 3,000 para un sistema que usualmente transmite mensajes digitales.

El alcance limitado de estos sistemas, menor a 2 km, los cataloga como una extensión del teléfono interno en una dirección pública, ó como sistemas de intercomunicación muy atractivos. Posteriormente se encontraron aplicaciones de las facilidades ofrecidas en una situación local para sistemas de más amplia área de cobertura, necesitando así mayor capacidad.

Los primeros sistemas de radiobúsqueda de cobertura amplia, a diferencia de los sistemas locales, se propusieron como una extensión a los servicios de radio móvil.

El concepto de ofrecer el servicio de radiobúsqueda en forma más amplia que un sistema privado, se introdujo en Norteamérica por primera vez en 1963 y desde entonces se ha propagado en todo el mundo.

Los primeros sistemas usaban señalización secuencial de tonos y posteriormente señalización digital. Se puede establecer una división de los sistemas con señalización de tonos, los que transmiten dos frecuencias de audio secuenciales y los que transmiten cinco o más. Todas las frecuencias de los tonos utilizados para modular la portadora de R.F. están dentro de la banda de audio de 100 Hz a 3,000 Hz.

Para lograr una buena capacidad de direccionamiento en un sistema de señalización de sólo dos tonos, se utiliza un alto nivel de multiplexaje por división de frecuencia (FDM), seleccionando desde 40 hasta 70 frecuencias en una banda, por lo que se requieren filtros de gran factor de calidad, para poder identificar las frecuencias separadas estrechamente y circuitos de alta estabilidad en el transmisor y en el radio receptor.

Los sistemas de radiobúsqueda de dos tonos tuvieron una capacidad de direccionamiento típica de 1,000 a 3,500 usuarios, con niveles de multiplexaje de 33 a 60 respectivamente, y una tasa de llamadas de 1 a 0.3 llamadas por segundo, dependiendo del intervalo de frecuencias seleccionado.

Para aminorar algunas de las necesidades críticas de estabilidad para los sistemas de dos tonos e incrementar la capacidad de direccionamiento asociada con el incremento de la tasa de llamadas, se introdujo lo que se conoce como "señalización digital decimal", transmitiendo 5 o más tonos secuenciales seleccionados de un total de 10 frecuencias, proporcionando un sistema base 10 para permitir llamadas de grupo y otras funciones especiales.

El primer sistema de radio búsqueda digital binario se introdujo en Canadá en 1970 y causó demasiado interés como método de señalización. La utilización de técnicas de señalización digital no se habían considerado por ofrecer ciertas desventajas, como sensibilidad inferior debido al mayor ancho de banda de ruido que el de la señalización por tonos, sobre todo si se requiere grandes capacidades de direccionamiento y tasas de llamadas, sin embargo el costo de la tecnología digital disminuye y el doble requerimiento de gran capacidad de direccionamiento y alta tasa de llamadas crece para encontrarse con las necesidades de sistemas de cobertura actualmente nacionales, por lo que la señalización digital es la alternativa más apropiada.

Los sistemas de radio búsqueda digital tienen también la ventaja de poder ofrecer funciones y características adicionales, como: direccionamiento múltiple y mensajes alfanuméricos.

IV. 3.2 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE UN SISTEMA DE RADIO BÚSQUEDA.

IV. 3.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE EXPLOTACIÓN:

- Extensión de la red telefónica.
- Funcionamiento del receptor al cambiar de una zona de búsqueda a otra.
- Mensajes adicionales (numéricos y alfanuméricos).
- Llamadas con prioridad.
- Códigos de legitimación (contraseña).
- Llamadas a grupos de usuarios.
- Identificación unívoca del receptor.

IV. 3.2.2 CARACTERÍSTICAS DEL CENTRO DE CONTROL.

- Almacenar y despachar llamadas.
- Aceptar y transmitir señales convenientes para la red telefónica pública.
- Transmitir al usuario que llama, mensajes o señales para indicar que su llamada ha sido aceptada o rechazada.

IV. 3.2.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS RECEPTORES.

- Tamaño, peso y costo reducidos.
- Mínimo consumo de energía.
- Sensibilidad mejor a $10\mu\text{V/m}$.
- Buena selectividad.
- Evitar emisión de radiaciones no esenciales.

IV. 3.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.

El sistema se maneja con Equipos de Control de Radio búsqueda interconectados.

A cada receptor se le atribuye un Equipo de Control de Radio búsqueda de "residencia" que conserva los detalles de las zonas de radio buscadores correspondiente. Como el control está distribuido, una petición de llamada a un receptor en particular debe encaminarse hacia su Equipo de Control de Radio búsqueda de residencia, independientemente del origen de la petición de llamada. En la Red Telefónica Pública Conmutada, al sistema de radio búsqueda sólo se le ha atribuido un código de marcación del grupo de números nacionales de cuatro cifras, y a cada dirección de receptores en actividad se le ha atribuido un número único de 10 cifras que empieza con dicho grupo de números nacionales. El usuario marca este número cuando quiere pedir una llamada de aviso, la Red

Teléfono Pública Conmutada detecta mediante el grupo de números nacionales que se trata de una petición de llamada de radio búsqueda y encamina las seis cifras restantes al Equipo de Control de Radio búsqueda más cercano.

Los números de radio búsqueda se dan a cada Equipo de Control de Radio búsqueda en bloques y se informa a los otros Equipos de Control de cada atribución de bloques, por lo que es posible identificar un "Equipo de Control de Radio búsqueda" de residencia mediante las tres primeras cifras del número de radio búsqueda. Si el "Equipo de Control de Radio búsqueda" de origen no es el de residencia, se le informa a éste último de la petición de llamada a través de los enlaces de datos entre los "Equipos de Control de Radio búsqueda".

Una característica del sistema de radio búsqueda es que las direcciones de los receptores no están necesariamente relacionadas con los números de radio búsqueda marcados, por lo que es práctico el mantenimiento del servicio ya que cuando el receptor de un usuario deja de funcionar puede dársele para sustituirlo uno con una o varias direcciones distintas. La nueva dirección se inscribe en los registros del "Equipo de Control de Radio búsqueda" frente al número anterior, lo que permite reanudar el servicio sin modificar el número de radio búsqueda. Al recibir una petición de llamada, el "Equipo de Control de Radio búsqueda" de residencia traduce el número de radio búsqueda a una dirección de receptor, acudiendo a sus registros y busca también las zonas a las que debe transmitirse la llamada, posteriormente se envía una llamada de aceptación al "Equipo de Control de Origen", que a su vez transmite al usuario que llama, un anuncio grabado informándole de la aceptación de la petición de llamada de radio búsqueda. A continuación el "Equipo de Control de Radio búsqueda" coloca la dirección del receptor, junto con cualquier otro mensaje digital, en la fila de espera de llamadas hacia las zonas correspondientes que controla y a través de un enlace de datos transmite si es necesario a cualquier "Equipo de Control de Radio búsqueda" acerca de la dirección que hay que buscar y las zonas deseadas. Con esto se cierra el encaminamiento de la petición de llamada y la traducción del número marcado en la dirección del receptor.

El procedimiento a seguir para las llamadas con mensaje digital es ligeramente distinto al de las llamadas con aviso únicamente.

Para iniciar una llamada, el usuario telefona a una central manual, indicando el número de radio búsqueda con mensaje atribuido al Equipo de Control de Radio búsqueda de residencia por télex o red de datos.

Los mensajes numéricos se pueden componer mediante un teclado conforme al código de multifrecuencia de dos tonos, y al usuario que llama se le envía una verificación del mensaje mediante voz sintetizada a efectos de confirmación antes de transmitir la llamada.

En el "Equipo de Control de Radio búsqueda" la configuración para las llamadas con mensaje tiene un procesador de entrada que trata todas las llamadas en lenguaje máquina. La rutina de entrada pide el número de radio búsqueda y se lo transmite al usuario que llama para verificación. A continuación pide el mensaje y de nuevo lo retransmite.

Además de la radio búsqueda con mensaje digital, el sistema de radio búsqueda puede ofrecer un banco de almacenamiento de mensajes orales. Las llamadas a radio receptores de aviso únicamente que figuran en las listas de este banco son interceptadas y el usuario que llama puede dejar un mensaje grabado antes de que la llamada de aviso se pase automáticamente al sistema de radio búsqueda. Para recibir el mensaje, el usuario llamado sólo tiene que llamar desde cualquier teléfono.

Un requisito importante para lograr una buena cobertura es utilizar la diversidad espacial de emisión, transmitiéndose cada llamada desde varios emplazamientos. Las zonas de recepción marginal correspondientes a un transmisor pueden ser probablemente zonas de buena recepción de otros transmisores.

IV. 4 SISTEMAS DE COMPARTICIÓN DE RECURSOS (TRUNKING).

IV. 4.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.

Trunking es la distribución automática de tráfico de comunicados de un grupo de repetidores de radio de forma inteligente entre grupos de usuarios. Los llamados sistemas troncales tienen como fin permitir que varios usuarios puedan compartir recursos costosos y limitados (frecuencias disponibles y costo de la infraestructura de la red), de manera tal que cada uno obtenga un servicio de mayor calidad y confiabilidad a un costo menor. (Figura IV.4)

Por lo tanto, un sistema troncal se diseña para satisfacer las necesidades de radio transmisión de usuarios o de grupos de usuarios, reduciendo el número de frecuencias necesarias y el costo de la infraestructura y ofreciendo características de calidad y facilidades adaptadas a las necesidades de los usuarios.

La estación base puede transmitir y recibir en cualquiera de los canales disponibles del sistema. La estación base recibe las peticiones de servicio de usuarios que desean utilizar el servicio por radio o por líneas terrestres y asigna los canales de manera apropiada. Si solamente se requiere el acceso a canales de radio, el sistema funciona como un repetidor de canales múltiples. Si se hacen conexiones a líneas terrestres, se necesitará una matriz de conmutación para conectar cualquier línea terrestre a cualquier canal de radio.

El procesador central realiza tres funciones principales:

- 1) Recibe las peticiones de servicio,
- 2) Las procesa, formando una cola de llamadas en espera si esto es necesario, y
- 3) Asigna canales libres, señalizando a los móviles apropiados y haciendo conexiones a través de la matriz de conmutación.

Cuando todos los canales de encuentran ocupados, las peticiones de servicio se tratan de diferentes formas:

- Pérdida: las llamadas son rechazadas, el usuario puede tratar posteriormente.

- Cola: las llamadas son colocadas en una cola de espera, para ser obtenidas en un orden específico.

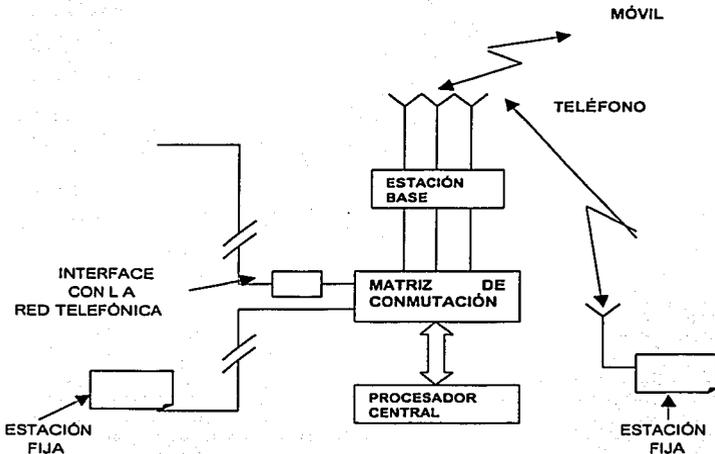


Figura IV.4
Sistema Troncal Básico.

La cola FIFO (primeras entradas, primeras salidas) es la más eficiente, sin embargo, en la práctica los sistemas permiten varios niveles de prioridad

Cabe señalar que el diseño del sistema de radio es muy semejante al de los sistemas públicos de radio móvil. Actualmente, este diseño se encuentra direccionado a la aplicación de los resultados de la tecnología celular.

Los sistemas de comunicación móvil terrestre se encuentran colocados en frecuencias menores a 1GHz. Los sistemas troncales, por lo general, se encuentran en la banda de los 90 MHz, contando con un pequeño grupo de canales espaciados 12.5, 25 o 30 kHz.

El tráfico en canales de radio privados es significativamente diferente del tráfico de los sistemas públicos. Las diferencias principales radican en:

- El móvil trabaja en modo simple por lo general.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Las conversaciones generalmente son cortas, con promedio de 15 segundos.
- Existe un número pequeño de usuarios en el sistema.
- En muchos casos los sistemas trabajan como sistemas de despacho.

Para cubrir áreas mayores, los canales pueden asignarse a distintas estaciones base siguiendo un esquema de re-uso de frecuencias de tipo celular.

La concentración del tráfico en los canales y el re-uso de frecuencia permite manejar menores anchos de banda, atender un número mayor de usuarios con mejor servicio, como la reducción del tiempo de pérdida, para el mismo número de canales y el mismo volumen de tráfico.

IV. 5. SERVICIOS DE COMUNICACIÓN MÓVIL EN MÉXICO

IV. 5.1 SERVICIOS DE TELEFONÍA CELULAR

Las compañías de telefonía celular que operan en México son básicamente cuatro: Telcel, Iusacell, Pegaso y Unefón.

IV. 5.1.1 TELCEL

Telcel es una de las empresas de telefonía celular líderes en el país.

La empresa es muy joven pero con una gran historia. Se remonta a 1978 cuando inició la instalación y operación de un sistema de radiotelefonía móvil (teléfono en el automóvil) en el Distrito Federal.

En 1984 obtuvo la concesión para explotar la red de servicio radiotelefónico móvil en el área metropolitana de la ciudad de México, bajo la denominación de "RADIOMOVIL DIPSA S.A. DE C.V."

En el año de 1989 surge la marca Telcel cuando se comenzó a ofrecer los servicios de telefonía celular en la ciudad de Tijuana B.C., al autorizar la Secretaría de Comunicaciones y Transportes la introducción de la telefonía celular en nuestro país.

A partir de 1990 se expanden los servicios de telefonía celular en el Distrito Federal y su zona metropolitana y paulatinamente se ofrece el servicio a nivel nacional.

Al día de hoy, Radiomóvil Dipsa es parte de uno de los grupos empresariales más importantes del país, Grupo Carso.

A través de una asociación empresarial estratégica con las compañías Southwestern Bell y France Telecom, dentro de Carso Global Telecom, se ha construido una sólida empresa en los aspectos técnicos y financieros.

TECNOLOGÍA DE VANGUARDIA

El nombre completo que se ha dado al uso de esta tecnología es Sistema de Radiotelefonía Móvil con Tecnología Celular.

Todas las telecomunicaciones están basadas en una norma; para el sistema Telcel utilizan la norma AMPS en la interfaz de aire analógica y D-AMPS en la digital (Advanced Mobile Phone System y Digital - Advanced Mobile Phone System, respectivamente).

Los componentes más importantes de este sistema son:

- La central de telefonía también conocida como:
MTX (Mobile Telephone Exchange)
MSC (Mobile Service Center)
MTSO (Mobile Telephone Services Office o Switch)
- Las Radiobases o Estaciones Base
- Los teléfonos celulares o también conocidos como:
Equipo Terminal
Unidades Móviles

Un sistema de telefonía celular funciona en interconexión con la Red de Telefonía Pública Conmutada proporcionada por Telmex, la cual no forma parte integral del mismo, pero es un elemento más de su operación.

La tecnología digital celular de Telcel permite ofrecer los servicios digitales más innovadores y vanguardistas de su tipo y han desarrollado nuevos métodos para incrementar la capacidad y funcionalidad de los sistemas.

Actualmente Telcel usa la plataforma tecnológica TDMA D-AMPS 136 (Time Division Multiple Access, Digital - Advanced Mobile Phone System) como método de acceso en la red, lo que permite desarrollar la más amplia gama de servicios con los más altos niveles de calidad en su comunicación como son los servicios "PCS" (Personal Communication Services).

IV. 5.1.2 IUSACELL.

CONCESIÓN:

El 6 de octubre de 1955 se crea la empresa Servicio Organizado Secretarial S.A. de C.V. (S.O.S.), cuyo objetivo principal fue realizar la compraventa, distribución, instalación, arrendamiento y exportación en general de aparatos de radio comunicación móvil con enlace a la red pública telefónica.

En 1983 se introduce la telefonía celular a los Estados Unidos de América.

En 1989 nace IUSACELL, convirtiéndose en la primera compañía de telefonía celular en ofrecer el servicio en la Ciudad de México.

NACIMIENTO DE GRUPO IUSACELL:

El 16 de octubre de 1992 se constituye GRUPO IUSACELL, S.A. de C.V., conformado por las empresas: IUSACELL, S.O.S. y SISTECEL.

El 11 de octubre de 1993 GRUPO IUSACELL forma una alianza estratégica con Bell Atlantic, una de las empresas más importantes en servicios de telecomunicación en Estados Unidos. Integrada por siete empresas, Bell Atlantic es líder en tecnología de red, posee una fuerte demanda de enlaces digitales, control de redes, software y transmisión a través de fibra óptica.

GRUPO IUSACELL, EMPRESA PÚBLICA:

En 1994 GRUPO IUSACELL realizó su primera oferta pública de acciones, cuya demanda de suscripción excedió más de 10 veces su disponibilidad, calificándola el diario de Nueva York "The Wall Street Journal", como "la más atractiva colocación inicial de acciones proveniente de Latinoamérica este año".

El 16 de octubre de 1995 IUSATEL, empresa subsidiaria de GRUPO IUSACELL, obtiene de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes la concesión para instalar y explotar el servicio público de larga distancia. De acuerdo con este otorgamiento, GRUPO IUSACELL, a través de IUSATEL, tiene la autorización de ofrecer el servicio de larga distancia nacional e internacional.

IUSATEL Larga Distancia inicia operaciones el 11 de agosto de 1996 y es la primera en ofrecer este servicio.

BELL ATLANTIC ASUME EL CONTROL ADMINISTRATIVO:

El 10 de febrero de 1997, el Gobierno Mexicano autoriza a Bell Atlantic asumir el control administrativo de Grupo Iusacell

LANZAMIENTO DE CDMA:

En 1998 IUSACELL se convierte en la primera compañía mexicana en contar con una red digital comercial de servicios de comunicaciones de este tipo en el país. Con ello se inicia la exitosa operación de su plataforma digital basada en tecnología CDMA (Acceso Múltiple por División de Código).

Con la inauguración de dos Centros de Atención Telefónica a Clientes, en Naucalpan, Estado de México, y León, Guanajuato, IUSACELL implementa el primer sistema de atención integral a usuarios de paquetes de servicios de telecomunicaciones, bajo los más altos estándares de calidad mundial.

Se da a conocer que IUSACELL obtuvo las frecuencias de PCS para las Regiones 1 y 4, que cubren las zonas económicas más importantes del norte del país.

Inicia IUSACELL la expansión de su nueva tecnología, poniendo a disposición de los usuarios, en el ámbito comercial, todos los beneficios de su red digital CDMA, integrando así al país a la nueva era digital.

INTERNET MÓVIL IUSACELL

Manteniéndose a la vanguardia tecnología, el 29 de Marzo del 2000, Iusacell lanza al mercado Internet Móvil Iusacell, servicio de telefonía celular que permite a los usuarios acceder y tener información de Internet sin la necesidad de computadora.

TECNOLOGÍA

La telefonía celular de Iusacell está basada en tecnología de vanguardia y utiliza sistemas totalmente computarizados dando acceso a las siguientes ventajas entre otras:

- Los equipos y accesorios más modernos del mercado.
- Cobertura en más de 3,800 ciudades en México, Estados Unidos y Canadá a través de Roaming IUSACELL Automático Nacional e Internacional.
- La más extensa variedad de servicios de valor agregado.

Además de contar con toda la funcionalidad del celular actual se tiene:

- Máxima calidad de llamadas por una mayor intensidad y nitidez del sonido.
- Mayor seguridad y privacidad previniendo casi en 100% la posibilidad de clono.
- Menor cantidad de llamadas pérdidas o con tono de ocupado o *fast busy* al aumentar la capacidad disponible por canal de voz.
- Eliminación de interferencia y estática.
- Alta seguridad en tu comunicación.

OTROS SERVICIOS:

Se puede contar con múltiples servicios avanzados de Valor Agregado aunados a los que ya ofrece Iusacell:

- Aviso de mensajes
- Identificador de llamadas
- Mensajes cortos en pantalla

TIPO DE ACCESO

Acceso Múltiple por División de Códigos.

IV. 5.1.3 PEGASO Y UNEFÓN.

PEGASO PCS, es una empresa dedicada al sector de las telecomunicaciones y a la telefonía digital.

Como concepto, Pegaso surge hace más de siete años cuando se promueve el primer sistema de radiolocalización inalámbrico a nivel nacional en México, SkyTel.

Con la visión de llevar a cabo un proyecto de telefonía y comunicación, Pegaso se asocia con la firma estadounidense Qualcomm, empresa líder en telecomunicaciones reconocida mundialmente como pionera de la avanzada tecnología CDMA.

TECNOLOGÍA.

Pegaso ofrece a través del Acceso Múltiple por División de Códigos (CDMA) un servicio que garantiza mayor seguridad y privacidad, mejor calidad de voz y la posibilidad de tener acceso a una amplia gama de servicios especializados, como mensajería breve, correo electrónico, y acceso fácil y eficaz a sistemas como Internet y fax, entre otros.

UNEFÓN es una empresa que forma parte del grupo Salinas Pliego y también utiliza tecnología CDMA.

Tiene cobertura en Torreón, Saltillo, Monterrey, Tampico, San Luis Potosí, Aguascalientes, Guadalajara, Guanajuato, Morelia, Querétaro, D.F., Puebla y Tuxtla Gutierrez.

UNEFÓN tiene una de las mejores tarifas hasta el momento, cobrando 1 peso el minuto de llamadas locales, 2 pesos de llamada de larga distancia nacional y 3 pesos de llamadas de larga distancia a USA.

IV. 5.1.4 ANÁLISIS GENERAL DE LAS PRINCIPALES COMPAÑÍAS.

El sistema análogo fue el primero que se ofreció en el mercado de la telefonía celular por las compañías Iusacell y Telcel (inicia operaciones en nuestro país en el año de 1984). Posteriormente, con el avance de la tecnología se dio la transición al sistema digital, que ya brindan todas las compañías de telefonía celular en México, lo que permite una mayor disponibilidad y eficiencia de los servicios que ofrecen.

Una de las características del sistema análogo es que las llamadas realizadas salen una por una, por lo cual el sistema se satura con mucha facilidad, sobretudo en horas pico de demanda.

En el sistema digital las llamadas se realizan con mayor eficiencia, esto debido a que una sola central puede atender simultáneamente varias llamadas, por lo que el servicio resulta altamente confiable. Entre otras ventajas, este sistema permite recibir mensajes escritos, la recepción de la conversación es mucho más clara y prácticamente no existen interrupciones, como en el sistema análogo.

IV. 5.1.4.1 VENTAJAS DE LA TELEFONÍA DIGITAL.

- Mejor calidad de voz.
- Precios más bajos.
- Menor número de llamadas caídas o interrumpidas.
- Seguridad y privacidad totales en cada llamada.
- Posibilidad de transmitir simultáneamente voz, datos e imágenes (Internet).
- Incrementa en 3 veces más la capacidad en la red celular que con el uso de canales analógicos, haciendo más rápido el tráfico de llamadas.
- Vida extendida de la batería para teléfonos celulares digitales (IS-136).
- Servicio de identificador de llamadas.
- Paging alfanumérico con servicio de mensajes cortos para teléfonos celulares digitales (IS-136).
- Soporte para sistemas privados y corporativos.
- Impide el uso fraudulento del sistema (clones).
- Privacidad en las conversaciones telefónicas, etc.

IV. 5.1.4.2 TARIFAS.

Las compañías ofrecen diversos planes con la finalidad de satisfacer las necesidades de los usuarios. En general, a mayor número de minutos incluidos, mayor es el pago de renta mensual y menor la tarifa por minuto adicional que se cobra y viceversa.

En cuanto a las llamadas locales, todas las compañías cobran exclusivamente las de salida; sólo en el caso de las llamadas de larga distancia cobran tanto las de entrada como las de salida.

En el caso de las llamadas locales recibidas, el sistema "el que llama paga", que opera desde el 1° de mayo de 1999, ofrece al usuario que recibe llamadas a su teléfono celular el beneficio de que éstas no le serán cobradas, ya que la persona que hace la llamada es quien paga por ella, marcando el prefijo 04455 asociado al número del teléfono móvil.

La tarifa de las llamadas realizadas de un teléfono fijo a un teléfono celular las cobra totalmente la compañía que ofrece los servicios de telefonía local (Telmex), a razón de \$2.50 por minuto, de los cuáles pagará a las compañías de telefonía celular \$1.90. Esta tarifa es independiente del cargo por servicio medido cobrado por cada llamada que Telmex incluirá en su recibo telefónico.

SISTEMA DE PREPAGO (TARJETA)

Otra opción que ofrecen las compañías de telefonía celular es el pago anticipado, en el cual el usuario debe adquirir el equipo de su preferencia y las respectivas tarjetas, las cuales se comercializan en diversas denominaciones. La ventaja principal de este sistema es que no es forzoso contratar un plazo determinado.

IV. 5.1.4.3 COBERTURA.

En la República Mexicana las regiones celulares están divididas en nueve.

Telcel ofrece cobertura en las nueve regiones celulares del país, los Estados Unidos y Canadá.

Iusacell, que ofrece el mismo servicio, lo hace con cobertura propia o de otras empresas.

Pegaso tiene cobertura solamente en parte de la región 9, así como en las ciudades de Tijuana, Monterrey y Guadalajara.

Unefón tiene cobertura en las siguientes ciudades: Torreón, Saltillo, Monterrey, Tampico, San Luis Potosí, Aguascalientes, Guadalajara, Guanajuato, Morelia, Querétaro, D.F., Puebla y Tuxtla Gutierrez.

IV. 5.1.5 SERVICIOS DE COMUNICACIÓN ESPECIAL.

Además del servicio de telefonía celular existen dos compañías más que ofrecen servicios de comunicación especializada, cuya característica es establecer contacto, ya sea como herramienta de comunicación para las empresas que operan con o sin equipos móviles de trabajo, en el caso de Nextel, o en área de difícil acceso como es el caso de Globalstar.



IV. 5.1.5.1 NEXTEL.

Esta compañía llegó a México desde Agosto de 1998 y ofrece en su red digital una herramienta que soluciona las necesidades de comunicación de cualquier empresa que opera con grupos de trabajo móviles.

Nextel forma parte de Nextel Communications Inc., con oficinas corporativas en Reston, Virginia, y es proveedor de comunicaciones inalámbricas integradas en el mundo y ha construido una red digital en Estados Unidos.

La característica de Nextel es que ofrece en un mismo equipo los siguientes servicios:

- o Conexión directa. Radio digital de dos vías que permite una conexión inmediata, proporciona el acceso a llamadas individuales o de grupo.
- o Acceso a la red telefónica para hacer y recibir llamadas a cualquier teléfono de México y del mundo. Ofrece correo de voz.
- o Ofrece además el servicio de recepción de mensajes de hasta 140 caracteres en la pantalla del equipo.

IV. 5.1.5.2 GLOBALSTAR.

En México, esta compañía inició sus operaciones el 15 de enero del 2000. Por sus características, este sistema de comunicación se recomienda para regiones rurales, personas con labor industrial de construcción, reporteros, protección civil y rescate, entre otras.

Globalstar funciona como teléfono celular, donde existe esta cobertura, para lo cual el usuario debe contratar este servicio y funciona con red satelital fuera del área de cobertura celular. Además Globalstar no maneja plazo forzoso y sus tarifas van desde 17 pesos hasta 22 pesos por minuto.

Por sus características, en el caso de Nextel y Globalstar el cobro de cada llamada da inicio desde el momento en el que se envía la llamada.

IV. 5.1.5.3 COBERTURA.

Nextel cubre sin alcanzar sólo algunas de las ciudades de las regiones 9, 6 y 7. Globalstar cuenta con cobertura en prácticamente todo el mundo.

IV. 5.2 SERVICIOS DE RADIOBUSQUEDA (PAGING).

En México existen diferentes prestadores de servicios de paging, de los cuales algunos de los más importantes son: BIPER, DIGITEL, SKYTEL, entre otros como Iusabeep.

El método de envío de mensajes es muy sencillo:

La persona que desea enviar un mensaje hace una llamada local de cualquier teléfono en cualquier lugar del país o dependiendo de la cobertura del sistema.

En sólo un segundo, la llamada es atendida por un operador solicitando el número de pin y el texto del mensaje.

Se envía la información al satélite, el cual la transfiere a uno de los sitios de recepción y transmisión ubicados a lo largo y ancho del territorio de cobertura.

Finalmente el usuario recibe el mensaje en su radiolocalizador.

La cobertura es este tipo de sistemas se maneja de diferentes formas:

- Cobertura Local

Permite recibir mensajes en la zona metropolitana de la ciudad donde haya contratado el servicio.



Cobertura Local

- Cobertura Regional

Permite recibir mensajes en la ciudad en donde haya contratado el servicio, algunas ciudades aledañas y tramos carreteros que parten a los estados circunvecinos.



Cobertura Regional

- Cobertura Interestatal

Permite recibir mensajes en toda la ciudad en donde haya contratado el servicio, así como gran parte de los estados circunvecinos que forman parte de esta zona de cobertura.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

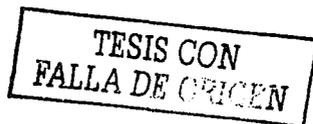


Cobertura Interestatal

- Cobertura Nacional.
Permite recibir mensajes en toda la República Mexicana.



Cobertura Nacional.



IV. 5.2.1 BIPER.

Biper se constituye en marzo de 1993 con el propósito de ofrecer el servicio de paging y se caracteriza por ser una empresa 100% mexicana, que ofrece un efectivo método de envío de mensajes alfanuméricos y numéricos en todo el país desde cualquier teléfono a un equipo BIPER (radiolocalizador).

Biper cuenta con una capacidad de hasta 1,500 posiciones (capacidad equivalente a más de 4,500 operadoras en tres turnos) y recepción de cerca de 135,000 llamadas por hora, pudiendo así atender hasta 540,000 usuarios simultáneamente, por lo que los niveles de saturación de líneas son casi nulos.

SERVICIOS.

Además de los servicios de envío de mensaje, Biper cuenta con servicios de valor agregado, tales como:

- Recepción de notificación de correo electrónico.
- Envío de diferentes tipos de mensajes por operadora o vía Internet.
- Mensajes de grupo: El mismo mensaje a varios números de PIN.
- Mensajes de horario: Programación de la hora en que se desea enviar o recibir el mensaje.
- Mensajes de prioridad: Envío de un mismo mensaje en repetidas ocasiones.

- Recuperación de mensajes por operadora o Internet hasta por 72 horas.
- La opción de enrutar los mensajes de un número de Pin a otro, con lo que se comparte simultáneamente la información.
- Servicio de Roaming para seguir comunicado mientras sale del área de cobertura.
- Recepción de las noticias nacionales e internacionales más relevantes.
- Servicio de recepción sin límites de mensajes y de mensajes medidos.
- Servicio de prepago.
- Servicio de agenda y despertador que le permiten programar sus mensajes.
- Telemarketing (Venta vía telefónica)

ENVÍO DE MENSAJES.

Los mensajes pueden ser enviados a través de formas diferentes:

1. Correo Electrónico.
2. Internet.
3. Bipersonal.
4. Operadora.

TARIFAS.

Servicio de Recepción sin límite de mensajes (Servicio Tradicional)

Cobertura	Semanal	Mensual	Bimestral	Trimestral	Semestral
Nacional	\$78.00	\$340.00	\$660.00	\$940.00	\$1,790.00
Regional	\$52.00	\$224.00	\$444.00	\$622.00	\$1,183.00
Local	\$30.00	\$130.00	\$258.00	\$362.00	\$687.00

Tarjetas prepagadas de servicio medido de mensajes:

Precio	\$150.00	\$300.00	\$500.00
Mensajes			
Regional	60	125	210
Nacional	36	75	130
Vigencia en días	30	90	150

IV. 5.2.2 DIGITEL.

Digitel es una de las empresas pioneras dentro de los servicios de radiolocalización en México. Actualmente ofrece una gran cobertura dentro del Territorio Mexicano.

SERVICIOS.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Digitel proporciona diferentes servicios.

Servicios sin costo:

- o Archivo de mensajes.
- o Recordatorio de citas.
- o Noticias dos veces al día.
- o Mensajes de grupo.
- o Enlace de claves.
- o Clave confidencial y/o privada.
- o Información de sus cuentas bancarias (D.F.)
- o Envío de mensajes desde su P.C. e Internet.
- o Cartelera cinematográfica y horóscopo.
- o Información vial.
- o Recuperación de mensajes desde Internet.
- o Aviso a tu Pager al llegar de correo electrónico a tu computadora.
- o Diginet.
- o Confirmación de mensajes via fax.

Servicios con costo:

- o Roaming regional.
- o Cobertura nacional temporal.
- o Trámite de seguro.

COBERTURA.

Ciudades con servicio actualmente: 594

Ciudades que próximamente contarán con servicio: 39

Total de ciudades: 630

Carreteras con servicio actualmente: 67

Carreteras que próximamente contarán con servicio: 3

Total de carreteras: 70





*Incluye cobertura de cobertura con servicio
 ** Con servicios en 2000

Figura IV.9
 Cobertura Digital

IV. 5.2.3 SKY TEL.

Comunicaciones Mtel S.A. de C.V. comenzó operaciones el 10 de febrero de 1992 siendo los socios fundadores Radio telefonía Móvil Metropolitana S.A. de C.V. (Televisa) y Mobile Telecommunications Inc. La cobertura inicial constaba de sólo 17 ciudades, actualmente se da servicio en 63 ciudades de la República Mexicana cubriendo más de 400 localidades y 19 países en América y la cuenca del pacífico.

Sky Tel cuenta con cerca de 250,000 subscriptores y con cerca de 600 empleados.

SERVICIOS.

Lada sin Costo: Se pueden enviar o recuperar mensajes desde cualquier parte de la república Mexicana por el teléfono LADA sin costo. Sólo aplica para Servicio Regional o Nacional y para las ciudades donde no existan números locales.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Mensajes de Grupo: Se puede enviar el mismo mensaje a varios números de PIN al mismo tiempo. Para formar el grupo se puede utilizar el software SkyWord Access, una terminal Alphamate, Internet o en su caso el servicio de Operadoras.

Mensajes de Prioridad: Esta función permite el envío de un mensaje en varias ocasiones a lapsos regulares.

Mensajes de Horario: Es posible programar la hora de recepción del mensaje indicando los datos correspondientes. Se pueden programar mensajes con 15 días de anticipación.

Recuperación de Mensajes: Se pueden recuperar los mensajes hasta por 99 horas. Es necesario proporcionar el número de pin y la clave de seguridad. En el caso de Operadoras los mensajes pueden ser retransmitidos o leídos, y en caso de Internet y SkyWord Access, únicamente será posible la lectura.

Enrutado de Mensajes: Este servicio permite que los mensajes enviados a un PIN sean recibidos por otro subscriptor simultáneamente.

Retención de Mensajes: Este servicio permite retener los mensajes en el sistema de manera que estos sean enviados hasta que la hora indicada llegue. En este momento todos los mensajes que fueron recibidos por el sistema en el lapso de la retención serán transmitidos.

Secuenciador de Mensajes: Permite recibir los mensajes con numeración continua, de manera que se puede identificar fácilmente si se ha omitido algún mensaje.

SkyTel brinda diversos servicios de información que mantienen enterado al usuario de los acontecimientos más importantes a nivel local, nacional e internacional, así como entretenimiento y noticias de tráfico.

SkyTalk : El servicio SkyTalk es uno de los adelantos tecnológicos debido a que la voz del usuario se digitaliza y es guardada en forma permanente hasta que es borrada por el sistema. SkyTalk es más conocido como buzón de voz, ya que realiza en forma privada la función de transmisión de mensajes de viva voz.

SkyPage : El usuario llama ya sea por teléfono de tonos o digital para hacer uso de dicho servicio. Con SkyPage se pueden enviar únicamente mensajes numéricos. El mismo sistema brinda al usuario una guía sencilla a través de sus diferentes opciones. Como en el caso de SkyTalk, el suscriptor también será notificado a través de su radiolocalizador, sólo que en este caso aparecerán números.

SkyMail : Notificación a SkyTel de haber recibido un correo electrónico. Este servicio está disponible a suscriptores que tienen cuenta de correo electrónico con determinadas compañías.

SkyStop : Sistema de seguridad para automóvil el cual permite en caso de robo detener el vehículo dentro de la cobertura SkyTel. Con sólo enviar un mensaje el vehículo se detendrá.

SkyAlarm: Es una alarma a control remoto que ofrece la protección total del vehículo mientras se encuentra estacionado, además, en caso de asalto es la única que puede ser activada vía satélite a nivel nacional. Está limitada a las personas que tengan contratado una póliza con Grupo Nacional Provincial. SkyAlarm funciona en la cobertura de SkyTel.

SISTEMA DE PREPAGO.

SkyCard es el nuevo sistema de radiolocalización que funciona por medio de tarjetas que te permite el control total sobre tus gastos. No es necesario firmar contrato ni tener tarjeta de crédito, simplemente comprar la tarjeta. Los paquetes SkyCard incluyen una tarjeta de servicio con las que puedes activar coberturas regionales o nacionales y un equipo Motorola.

COBERTURA.

Regiones

Centro	Bajío	Norte	Sureste	Pacífico
D.F.	Aguascalientes	Coahuila	Campeche	Baja California
Edo. De México	Guanajuato	Chihuahua	Chiapas	Norte
Guerrero	Jalisco	Durango	Quintana Roo	
Morelos	Michoacán	Nuevo León	Tabasco	Sinaloa
Puebla	San Luis Potosí	Tamaulipas	Veracruz	Sonora
Querétaro			Yucatán	

También cuenta con cobertura Internacional en:

Argentina, Bahamas, Brasil, Canadá, Colombia, Ecuador, Costa Rica, Guatemala, Paraguay, Perú, Filipinas, Shangai, Malasia, Usa, Venezuela, entre otros países.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

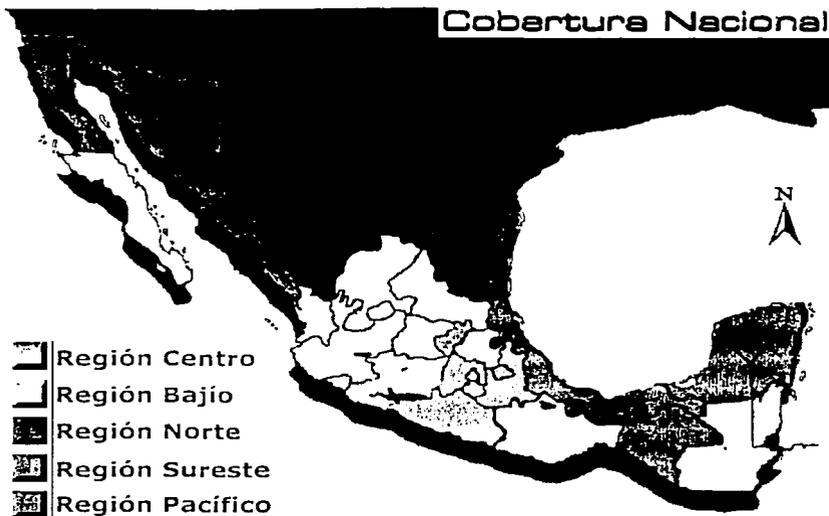


Figura IV. 10
Cobertura SKY

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

IV. 5.3. MOVISAT.

Movisat es un sistema satelital para localización de vehículos que combina innovación, funcionalidad y eficacia. Movisat utiliza el Sistema de Posicionamiento Global por satélite "GPS" y el espectro de la Banda "L" de los satélites Solidaridad, permitiendo mantenerse en contacto con sus vehículos esté donde esté.

El sistema Movisat es un sistema operado por Telecomunicaciones de México para la comunicación de voz y datos de usuarios móviles terrestres, aéreos y marítimos. Además

brindan servicios de comunicaciones rurales, seguridad nacional e interconecta a las redes telefónicas públicas o privadas. Para contar con un monitoreo continuo se cuenta con dos centros de control de comunicaciones (CCCM).

Las comunicaciones se realizan de tres formas diferentes:

- De la red telefónica a las terminales móviles.
- De las terminales móviles a la red telefónica pública.
- De terminal móvil a móvil.

El sistema Movisat estaba compuesto por dos estaciones, que son:

- Sitio 1 que se encarga de los sistemas Movisat voz y datos utilizando el satélite Solidaridad 1 y.
- Sitio 2 que se dedica al sistema Movisat voz utilizando el satélite Solidaridad 2.

En su parte espacial Movisat está compuesto por un transpondedor en Banda Ku/C para el enlace de subida y uno en banda L/Ku para el enlace de retorno, esto para cada uno de los satélites.

UBICACIÓN DEL SATÉLITE.

El satélite solidaridad se encuentra posicionado en:

Solidaridad 2: 113.5° W.

UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN TERRENA.

Los sistemas Movisat son controlados desde las instalaciones de CONTEL, Iztapalapa en la Ciudad de México D.F. en 99.1° Longitud y 19.4° Latitud.

COBERTURA.

La figura IV.11 muestra la cobertura que brinda el sistema MOVISAT.

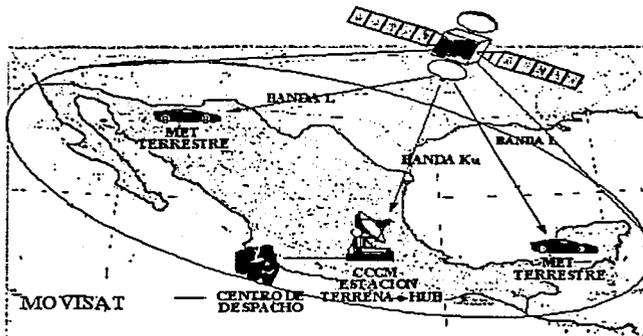


Figura IV.11
Cobertura del sistema MOVISAT

Este servicio cubre la totalidad del territorio Mexicano y 200 millas náuticas del Mar patrimonial. También puede cubrir parte del sur de los Estados Unidos, Centroamérica y El Caribe.

TERMINALES.

Los equipos compatibles con el sistema son de la marca Trimble y constan de:

- Antena de comunicación en banda "L" (GPS incluido).
- Equipo transeceptor de comunicación móvil vía satélite.
- Teclado de datos.

CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS.

MOVISAT DATOS.

Permite la comunicación móvil de datos a baja velocidad en forma bidireccional entre unidades de transportación marítima y terrestre; así como sistemas ubicados en puntos remotos con las instalaciones de las empresas. Este servicio utiliza la tecnología estándar "C" DE INMARSAT.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CARACTERÍSTICAS Y SERVICIOS.

- Sistema de almacenamiento y envío
- Reintento automático de entrega de mensajes
- Mensajes multidestino
- Confirmación de entrega de mensajes
- Intercambio de mensajes entre:
 - * Móvil - fijo
 - * Fijo - móvil
 - * Móvil - móvil
- Este servicio puede interconectarse con los centros de despacho a través de las redes:
 - * Telefonía pública (PSTN)
 - * Telepac (X.25)
 - * TELEX
- Transferencia de mensajes
- Comandos remotos (POLEO / GPS)
- Monitoreo remoto (SCADA)
- Llamadas a grupos de terminales móviles en un área geográfica específica (EGC)
- Pruebas de verificación de la terminal.

MOVISAT VOZ.

Utiliza la tecnología MSAT (estándar creado por TMI de Canadá y AMSC de Estados Unidos), a través de la banda "L" del sistema de satélites Solidaridad.

CARACTERÍSTICAS Y SERVICIOS.

- Mensajes de voz en tres direcciones
 - * Móvil - fijo
 - * Fijo - móvil
 - * Móvil - móvil
- Voz
 - * Velocidad : 6.75 kbps
- Datos
 - * Datos en conmutación de circuitos
 - * Velocidad : 2.4 kbps.
- Fax
 - * Velocidad : 2.4 kbps.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

FRECUENCIAS DE ENLACE.

El rango de frecuencias en banda L asignadas para los servicios móviles es de 1.6265 a 1.6605 GHz para el segmento ascendente (móvil-satélite) y de 1.525 a 1.559 GHz para el segmento descendente (satélite-móvil).

Transmisión de banda Ku	14,000.0 – 14,500.0 MHz
Recepción de banda Ku	11,700.0 – 12,200.0 MHz
Transmisión de banda L	1,626.5 – 1,660.5 MHz
Recepción de banda L	1,525.0 – 1,559.0 MHz

TARIFAS

Activación	\$ 550.00 pesos
Renta mensual	\$ 250.00 pesos con derecho a 8,000 caracteres
Caracter adicional	\$ 0.0498 cts. de peso.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO 5 ESPECTRO RADIOELÉCTRICO Y NORMALIZACIÓN.

V. 1. ESPECTRO RADIOELÉCTRICO.

El espectro electromagnético es la organización de las ondas electromagnéticas de acuerdo a su frecuencia, este es el recurso más importante de las telecomunicaciones inalámbricas debido a que con la tecnología disponible actualmente sólo se puede hacer uso de una porción limitada de este. Las frecuencias y anchos de banda necesarios para cualquier servicio por lo regular son mayores a los disponibles.

El espectro radioeléctrico comprendido de 3 kHz a 300 GHz es una porción del espectro electromagnético.

Las distintas tecnologías de telecomunicación hacen uso de las ondas electromagnéticas a través de diferentes medios.

Las ondas electromagnéticas viajan en el vacío con la rapidez de la luz, c . Las ondas electromagnéticas transportan energía e información desde alguna fuente hasta algún receptor. En 1857, Hertz generó y captó exitosamente ondas electromagnéticas de radiofrecuencias predichas por Maxwell (Apoyándose en los descubrimientos de Hertz, Marconi tuvo éxito al desarrollar un sistema de comunicación práctico, mediante radio de largo alcance). En esta época, las únicas ondas electromagnéticas reconocidas eran las ondas de radio y la luz visible. Ahora se sabe que existen otras formas de ondas electromagnéticas que se distinguen por sus frecuencias y, consecuentemente, su longitud de onda.

Como todas las ondas electromagnéticas se propagan en el vacío con una rapidez c , sus frecuencias f y longitudes de onda λ están relacionadas por una expresión importante

$$c = f \lambda$$

Estos diferentes tipos de frecuencias de onda se muestran en la distribución del espectro siguiente:

utilizados en la navegación aérea y para estudiar las propiedades atómicas y moleculares de la materia. Los hornos de microondas son una aplicación doméstica de este tipo de ondas.

Ondas infrarrojas

Las ondas infrarrojas (algunas veces llamadas ondas térmicas) tienen longitudes de onda que van de aproximadamente 1mm a la longitud de onda más grande de la luz visible, 7×10^{-7} m. Estas ondas son producidas por cuerpos calientes y moléculas, son absorbidas por la mayor parte de los materiales. La radiación infrarroja tiene muchas aplicaciones prácticas y científicas, incluyendo la terapia en la medicina física, fotografía infrarroja y espectroscopia de vibraciones.

Ondas visibles

La luz visible, la forma más familiar de las ondas electromagnéticas, se puede definir como aquella parte del espectro que puede percibir el ojo humano. Las diferentes longitudes de onda se clasifican con colores que van del violeta ($\lambda = 4 \times 10^{-7}$ m) al rojo ($\lambda = 7 \times 10^{-7}$ m).

Ondas ultravioletas

La luz ultravioleta cubre las longitudes de onda que van de 3.8×10^{-7} m, hasta 6×10^{-8} m. El sol es una importante fuente de luz ultravioleta.

Los rayos x

Son ondas electromagnéticas con longitudes de onda en el rango de aproximadamente 10^{-8} m hasta 10^{-13} m. La fuente más común de rayos x es la desaceleración de electrones de alta energía al bombardear un blanco metálico. Los rayos x son utilizados para el diagnóstico en la medicina y en el tratamiento de ciertas formas de cáncer.

Las señales de los sistemas de comunicación no se desvanecen abruptamente en los límites de los países, por lo que existe el convenio internacional de telecomunicaciones y el reglamento de radiocomunicaciones, en estos se definen los derechos y obligaciones de los países miembros de la UIT con respecto a todos los servicios radioeléctricos.

Para fines prácticos el espectro se divide en bandas de frecuencia que se designan con letras, esta práctica inicia en la segunda guerra mundial, el significado de las letras depende de los usuarios. Las frecuencias utilizadas por los satélites de comunicaciones de acuerdo con la IEEE, son las siguientes:

Rango de frecuencia	Letra
1 – 2 GHz	L
2 – 4 GHz	S
4 – 8 GHz	C
8 – 12 GHz	X
12 – 18 GHz	Ku
18 – 27 GHz	K
27 – 40 GHz	Ka

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

40 – 60 GHz	U
60 – 90 GHz	W

Tabla V.2
Bandas de Frecuencia para microondas

Otra designación de bandas de frecuencia esta basada en décadas o factores de diez, que utiliza superlativos como very, ultra, super y extremadamente, son debido a que cuando se realizó esta designación se consideraba como alta frecuencia 10 MHz.

Frecuencia	Acrónimo	
3 – 30 KHz	VLF	Muy baja frecuencia
30 – 300 KHz	LF	baja frecuencia
0.3 - 3 MHz	MF	Media frecuencia
3 – 30 MHz	HF	Alta frecuencia
30 – 300 MHz	VHF	Muy alta frecuencia
0.3 - 3 GHz	UHF	Ultra alta frecuencia
3 – 30 GHz	SHF	Super alta frecuencia
30 – 300 GHz	EHF	Extremadamente alta frecuencia

Tabla V.3
Bandas de Frecuencia

V. 2 NORMALIZACIÓN DE LAS TELECOMUNICACIONES

En forma amplia, la normalización tiene un papel primordial en los diferentes aspectos del desarrollo económico, social y cultural de toda población usuaria de productos y servicios que resultan de la aplicación de las tecnologías.

En un mundo global como el que actualmente nos rige, la normalización es también un importante factor de orden, concierto y equidad entre las naciones productoras y las usuarias de diversos productos y servicios.

Podemos afirmar que publicar e implantar una norma, equivale a establecer y operar un pacto plasmado en un documento técnico, mediante el cual los fabricantes, los distribuidores, los usuarios o consumidores y la Administración Pública, acuerdan las características que deberán reunir los productos o servicios involucrados. Luego entonces, el grado de facilidad para lograr dicho pacto, esto es, para normalizar, dependerá de qué tan rápido se puedan armonizar los intereses de los que producen con los de los que consumen y, a final de cuentas, con los intereses de la sociedad en la que están inmersos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En el sector de las telecomunicaciones, el contexto de la relación internacional cotidiana en la que estamos evolucionando, armonizar los intereses de fabricantes de muy diversas latitudes, que poseen tecnologías variadas y muchas veces diferentes, con los intereses de los productores, distribuidores y consumidores nacionales, no ha resultado una tarea sencilla.

Se puede definir, de manera muy general, el espectro de frecuencias como el conjunto que se utilizan para transmitir señales vía radio, sea cual fuere la naturaleza de éstas y sea cual fuere el modo de realizar dicho transporte de señales. Podemos considerar el espectro de frecuencias como la materia prima necesaria para la provisión de los servicios de radiocomunicación. Esta materia prima es muy escasa y, por lo tanto, hay que administrarla de la manera más eficaz posible.

V.2.1 LA UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

El uso del espectro radioeléctrico está reglamentado por medio de convenios internacionales donde se realiza la asignación de frecuencias. Estos convenios son establecidos por los miembros de la unión internacional de telecomunicaciones UIT, que es el órgano regulatorio por excelencia, en materia de telecomunicaciones. La UIT es una agencia especializada de Naciones Unidas, cuyo objetivo global es armonizar las telecomunicaciones mundiales, coordinando el desarrollo y la operatividad de las redes y servicios de telecomunicaciones, atribuir y asignar las bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico, de manera tal que todos los países puedan compartir este recurso limitado en forma adecuada.

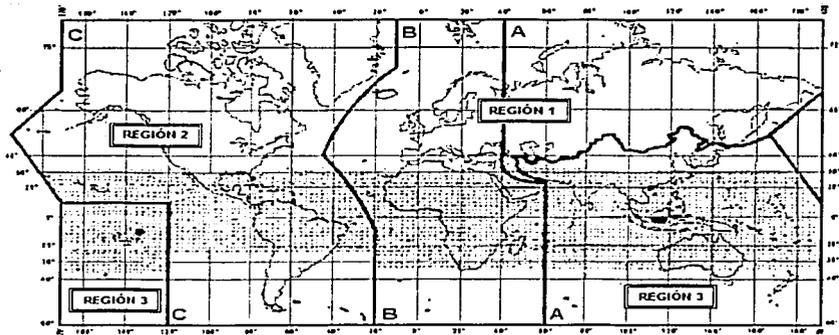
La UIT ha dividido al mundo en tres Regiones. Con base en esa división, la parte internacional del "Cuadro" consta de tres columnas, denominadas: Región 1, Región 2 y Región 3, respectivamente. Dichas regiones se refieren a distintas zonas geográficas, como se indica en la siguiente figura:

Región 1:

La Región 1 comprende la zona limitada al este por la línea A (más adelante se definen las líneas A, B y C), y al oeste por la línea B, excepto el territorio de la República Islámica del Irán situado dentro de estos límites. Comprende también la totalidad de los territorios de Armenia, Azerbaiyán, Georgia, Kazakstán, Mongolia, Uzbekistán, Kirguistán, Rusia, Tayikistán, TurKmenistán, Turquía y Ucrania, y la zona al norte de Rusia que se encuentra entre las líneas A y C.

Región 2:

La Región 2 comprende al continente americano limitado al este por la línea B y al oeste por la línea C.



La parte sombreada representa la Zona Tropical definida en los números S5.16 a S5.20 y S5.21.

Figura V.1
Regiones que divide la UIT.

Región 3:

La Región 3 comprende la zona limitada al este por la línea C y al oeste por la línea A, excepto el territorio de Armenia, Azerbaiyán, Georgia, Kazakstán, Mongolia, Uzbekistán, Kirguistán, Rusia, Tayikistán, Turkmenistán, Turquía y Ucrania, y la zona al norte de Rusia. Comprende, asimismo, la parte del territorio de la República Islámica del Irán situada fuera de estos límites.

Las líneas A, B y C se definen en la forma siguiente:

Línea A:

La línea A parte del Polo Norte; sigue el meridiano 40° Este de Greenwich hasta el paralelo 40° Norte; continúa después por un arco de círculo máximo hasta el punto de intersección del meridiano 60° Este con el Trópico de Cáncer y, finalmente, por el meridiano 60° Este hasta el Polo Sur.

Línea B:

La línea B parte del Polo Norte; sigue el meridiano 10° Oeste de Greenwich hasta su intersección con el paralelo 72° Norte; continúa después por un arco de círculo máximo hasta el punto de intersección del meridiano 50° Oeste con el paralelo 40° Norte; sigue de nuevo un arco de círculo máximo hasta el punto de intersección del meridiano 20° Oeste con el paralelo 10° Sur y, finalmente, por el meridiano 20° Oeste hasta el Polo Sur.

Línea C:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La línea C parte del Polo Norte; sigue el arco de círculo máximo hasta el punto de intersección del paralelo 65° 30' Norte con el límite internacional en el estrecho de Bering; continúa por un arco de círculo máximo hasta el punto de intersección del meridiano 165° Este de Greenwich con el paralelo 50° Norte; sigue de nuevo un arco de círculo máximo hasta el punto de intersección del meridiano 170° Oeste con el paralelo 10° Norte; continúa por el paralelo 10° Norte hasta su intersección con el meridiano 120° Oeste y, finalmente, por el meridiano 120° Oeste hasta el Polo Sur.

La estructura interna de la UIT se divide en tres sectores: sector de normalización (UIT-T), sector de desarrollo (UIT-D) y sector de radiocomunicación (UIT-R).

El sector normalización tiene como funciones el logro de los objetivos de la Unión en materia de normalización de las telecomunicaciones, a través del estudio de las cuestiones técnicas, de explotación y de Tarifas y la adopción de Recomendaciones al respecto para la normalización de las telecomunicaciones a escala mundial.

La misión del Sector de Desarrollo de las Telecomunicaciones de la UIT (UIT-D) es facilitar y promocionar el desarrollo de las telecomunicaciones a nivel mundial por medio de la oferta, la organización y la coordinación de cooperación técnica y de actividades de asistencia.

Para cumplir su misión, la UIT-D presta particular atención a las áreas siguientes:

- Reforma del sector de las telecomunicaciones
- Tecnologías
- Desarrollo rural y acceso universal
- Financiación y asociación.

El sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido básico garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones,

En el sector de Radiocomunicaciones, el órgano principal son las Conferencias Mundiales de Radiocomunicación (WARC, por sus siglas en inglés); durante su celebración es el único órgano competente para cambiar el Reglamento de Radiocomunicaciones. Este último tiene carácter vinculante para todos los estados miembros de la UIT, tiene rango de tratado internacional y regula el uso mundial de las radiocomunicaciones. Contiene las "reglas" que hacen posible la coexistencia de muchos usuarios compartiendo el recurso "frecuencia".

V.2.1.1 REGLAMENTO DE RADIOCOMUNICACIONES (RR).

El reglamento de radiocomunicaciones es una publicación que complementa la constitución y el convenio de la Unión Internacional de Telecomunicaciones. Incluye las decisiones de las Conferencias Mundiales de Radiocomunicaciones. Las disposiciones de este reglamento se aplican a partir de la última revisión de la publicación.

Del capítulo II del reglamento de radiocomunicaciones de la UIT, el espectro radioeléctrico de acuerdo al artículo 10, se entiende que el uso de las bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico se clasificará de acuerdo con lo siguiente:

- I. Espectro de uso libre: son aquellas bandas de frecuencias que pueden ser utilizadas por el público en general sin necesidad de concesión, permiso o registro;
- II. Espectro para usos determinados: son aquellas bandas de frecuencias otorgadas mediante concesión y que pueden ser utilizadas para los servicios que autorice la Secretaría en el título correspondiente;
- III. Espectro para uso oficial: son aquellas bandas de frecuencias destinadas para el uso exclusivo de la administración pública federal, gobiernos estatales y municipales, otorgadas mediante asignación directa;
- IV. Espectro para usos experimentales: son aquellas bandas de frecuencias que podrá otorgar la Secretaría, mediante concesión directa e intransferible, para comprobar la viabilidad técnica y económica de tecnologías en desarrollo tanto en el país como en el extranjero, para fines científicos o para pruebas temporales de equipo, y
- V. Espectro reservado: son aquellas bandas de frecuencias no asignadas ni concesionadas por la secretaría.

Como instrumento regulatorio que es el RR, contiene los mecanismos de protección de unos sistemas frente a otros, en lo que a interferencias se refiere. Esto se materializa en:

- Los procedimientos de coordinación.
- Los valores de determinados parámetros que sirven como criterios de protección.

El contenido del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) incluye la definición de todos los servicios de radiocomunicaciones.

En la siguiente tabla se muestra la clasificación reglamentaria de los Servicios de Radiocomunicación.

Servicios Terrenales	Servicios Espaciales	Otros servicios
<ul style="list-style-type: none"> • Servicio fijo • Servicio fijo aeronáutico • Servicio móvil • Servicio móvil terrestre • Servicio móvil marítimo • Servicio de operaciones portuarias • Servicio de movimiento de barcos • Servicio móvil aeronáutico 	<ul style="list-style-type: none"> • Servicio fijo por satélite • Servicio entre satélites • Servicio de operaciones espaciales • Servicio móvil por satélite • Servicio móvil terrestre por satélite • Servicio móvil marítimo por satélite • Servicio móvil aeronáutico 	<p>Servicio de radioastronomía</p>

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

<ul style="list-style-type: none"> • Servicio de radiodifusión • Servicio de radiodeterminación • Servicio de radionavegación • Servicio de radionavegación marítima • Servicio de radionavegación aeronáutica • Servicio de radiolocalización • Servicio de ayuda a la meteorología • Servicio de frecuencias patrón y de señales horarias • Servicio de aficionados 	<ul style="list-style-type: none"> por satélite • Servicio de radiodifusión por satélite • Servicio de radiodeterminación por satélite • Servicio de radionavegación por satélite • Servicio de radionavegación marítima por satélite • Servicio de radionavegación aeronáutica por satélite • Servicio de radiolocalización por satélite • Servicio de exploración de la tierra por satélite • Servicio de meteorología por satélite • Servicio de frecuencias patrón y de señales horarias por satélite • Servicio de investigación espacial • Servicio de aficionados por satélite 	
--	---	--

Tabla V.4
Clasificación de Servicios de Radiocomunicación

La definición de los servicios de radiocomunicación es la siguiente:

Servicio de radiocomunicación: Es el que implica la transmisión, la emisión o la recepción de ondas radioeléctricas para fines específicos de telecomunicación.

Servicio fijo: Es el definido entre puntos fijos determinados.

Servicio fijo por satélite: Servicio entre estaciones terrenas situadas en emplazamientos dados cuando se utilizan uno o más satélites; el emplazamiento dado puede ser un punto fijo determinado o cualquier punto fijo situado en una zona determinada; en algunos casos, este

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

servicio incluye enlaces entre satélites que pueden realizarse también dentro del servicio entre satélites; el servicio fijo por satélite puede también incluir enlaces de conexión para otros servicios de radiocomunicación espacial.

Servicio entre satélites: Establece enlaces entre satélites artificiales.

Servicio de operaciones espaciales: Concierne exclusivamente al funcionamiento de los vehículos espaciales, en particular el segmento espacial, la telemedida espacial y el telemando espacial. Estas funciones serán normalmente realizadas dentro del servicio en el que funcione la estación espacial.

Servicio móvil: Servicio entre estaciones móviles y estaciones terrenas o entre estaciones móviles.

Servicio móvil por satélite: Servicio:

- entre estaciones terrenas móviles y una o varias estaciones espaciales o entre estaciones espaciales utilizadas para este servicio o;
 - entre estaciones terrenas móviles por intermedio de una o varias estaciones espaciales.
- También pueden considerarse incluidos en este servicio los enlaces de conexión necesarios para su explotación

Servicio móvil terrestre: Servicio entre estaciones de base y estaciones móviles terrenales o entre estaciones móviles terrestres.

Servicio móvil terrestre por satélite: Servicio en el que las estaciones terrenas móviles están situadas en tierra.

Servicio móvil marítimo: Servicio entre estaciones costeras y estaciones de barco, o entre estaciones de comunicaciones a bordo asociadas; también pueden considerarse incluidas en este servicio las estaciones de embarcación o dispositivos de salvamento y las estaciones de radiobaliza de localización de siniestros.

Servicio móvil marítimo por satélite: Servicio en el que las estaciones terrenas móviles están situadas a bordo de barcos; también pueden considerarse incluidas en este servicio las estaciones de embarcación o dispositivo de salvamento y las estaciones de radiobaliza de localización de siniestros.

Servicio de operaciones portuarias: Servicio en un puerto o en sus cercanías, entre estaciones costeras y estaciones de barco, o entre estaciones de barco, cuyos mensajes se refieren únicamente a las operaciones, movimiento y seguridad de los barcos y, en caso de urgencia, a las salvaguardia de las personas.

Servicio móvil aeronáutico: Servicio reservado a las comunicaciones aeronáuticas relativas a la seguridad y regularidad de los vuelos, principalmente en las rutas nacionales o internacionales de la aviación civil.

Servicio móvil aeronáutico por satélite: Servicio en el que las estaciones terrenas móviles están situadas a bordo de aeronaves.

Servicio de radiodifusión: Servicio cuyas emisiones se destinan a ser recibidas directamente por el público en general. Dicho servicio abarca emisiones sonoras, de televisión o de otro género.

Servicio de radiodifusión por satélite: Servicio en el cual las señales emitidas o retransmitidas por estaciones espaciales están destinadas a la recepción directa del público en general.

Servicio de radiodeterminación: Servicio para fines de radiodeterminación.

Servicio de radiodeterminación por satélite: Servicio para fines de radiodeterminación y que implica la utilización de una o más estaciones espaciales.

Servicio de radio navegación: Servicio de radiodeterminación para fines de radionavegación.

Servicio de radionavegación por satélite: Servicio de radiodeterminación por satélite para fines de radionavegación.

Servicio de radiolocalización: Servicio de radiodeterminación para fines de radiolocalización.

Servicio de radiolocalización por satélite: Servicio de radiodeterminación por satélite empleado para radiolocalización.

Servicio de ayuda a la meteorología: Servicio destinado a las observaciones y sondeos utilizados en meteorología, con inclusión de la hidrología.

Servicio de exploración de la tierra por satélite: Servicio entre estaciones terrenas y una o varias estaciones espaciales que puede incluir enlaces entre estaciones espaciales y en el que:

- se obtiene información sobre las características de la tierra y sus fenómenos naturales, incluidos datos relativos al estado del medio ambiente, por medio de sensores activos o de sensores pasivos a bordo de satélites de la tierra;
- se reúne información análoga por medio de plataformas situadas en el aire o sobre la superficie de la tierra;
- dichas informaciones pueden ser distribuidas a estaciones terrenas dentro de un mismo sistema.
- Puede incluirse asimismo la interrogación a las plataformas.

Servicio de meteorología por satélite: Servicio de exploración de la tierra con fines meteorológicos.

Servicio de investigación espacial: Servicio que utiliza vehículos espaciales u otros objetos espaciales para fines de investigación científica o tecnológica.

Servicio de aficionados: Servicio que tiene por objeto la instrucción individual, la intercomunicación y los estudios técnicos, efectuado por aficionados, esto es, por personas debidamente autorizadas que se interesan en la radiotecnica con carácter exclusivamente personal y sin fines de lucro.

Servicio de seguridad: Todo servicio radioeléctrico que se explote de manera permanente o temporal para garantizar la seguridad de la vida humana y la salvaguardia de los bienes.

Una vez definidos los servicios, se muestra a continuación sólo una porción del espectro que le corresponde en acuerdo con cada región descrita (la banda de frecuencias a que se refiere cada atribución se indica en la esquina superior izquierda), es la siguiente:

Atribución de frecuencia de los servicios (MHz)		
Región 1	Región 2	Región 3
Inferior a .009	no atribuidas	
.009-.014	Radionavegación	
.014-.01995	Fijo Móvil marítimo	
.01995-.02005	Frecuencias patrón y señales horarias (20 KHz)	
Atribución de frecuencia de los servicios (MHz)		
.02005-.070	Fijo Móvil marítimo	
.070-.072 Radionavegación	.070-.090 Fijo Móvil marítimo Radionavegación marítima	.070-.072 Radionavegación Fijo Móvil marítimo
.072-.084 Fijo Móvil marítimo Radionavegación		.072-.084 Fijo Móvil marítimo Radionavegación
.084-.086 Radionavegación		.084-.086 Fijo Móvil marítimo Radionavegación
.086-.090 Fijo Móvil marítimo Radionavegación		.086-.090 Fijo Móvil marítimo Radionavegación
.090-.110		Fijo Radionavegación

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

.110-.112 Fijo Móvil marítimo Radionavegación	.110-.130 Fijo Móvil marítimo Radionavegación marítima	.110-.130 Fijo Móvil marítimo Radionavegación
.112-.115 Radionavegación		
.115-.126 Fijo Móvil marítimo Radionavegación		
.126-.129 Radionavegación		
.129-.130 Fijo Móvil marítimo Radionavegación		
Región 1	Región 2	Región 3
.130-.1485 Fijo Móvil marítimo	.130-.160 Fijo Móvil marítimo	.130-.160 Fijo Móvil marítimo Radionavegación
.1485-.200 Radiodifusión	.160-.190 Fijo	.160-.190 Fijo Radionavegación aeronáutica
	.190-.200 Radionavegación aeronáutica	
.200-.2835 Radionavegación aeronáutica Radiodifusión	.200-.275 Radionavegación aeronáutica	.200-.285 Móvil aeronáutico Radionavegación aeronáutica Radionavegación marítima
Atribución de frecuencia de los servicios (MHz)		
.2835-.315 Radionavegación aeronáutica Radionavegación marítima	.275-.285 Móvil aeronáutico Radionavegación aeronáutica Radionavegación marítima (radiofaros)	.285-.315 Radionavegación aeronáutica Radionavegación marítima (radiofaros)
	.315-.325 Radionavegación aeronáutica Radionavegación marítima (radiofaros)	
.325-.405 Radionavegación aeronáutica	.315-.325 Radionavegación marítima (radiofaros)	.315-.325 Radionavegación aeronáutica Radionavegación marítimo (radiofaros)

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

	.325-.335 Radionavegación aeronáutica Radionavegación marítima Móvil aeronáutico	.325-.405 Radionavegación aeronáutica Móvil aeronáutico
	.335-.405 Radionavegación aeronáutica Móvil aeronáutico	
.405-.415 Radionavegación	.405-.415 Radionavegación Móvil aeronáutico	
.415-.435 Radionavegación aeronáutica Móvil marítimo	.415-.495 Radionavegación aeronáutica Móvil marítimo	
.435-.495 Radionavegación aeronáutica Móvil marítimo		
.495-.505	Móvil (socorro y llamada)	
.505-.5265 Radionavegación aeronáutica Móvil marítimo		

Región 1	Región2	Región 3
455-456 Fijo Móvil	455-456 Fijo Móvil Móvil por satélite	455-456 Fijo Móvil
456-459	Fijo Móvil	
459-460 Fijo Móvil	459-460 Fijo Móvil Móvil por satélite (tierra espacio)	459-460 Fijo Móvil
Región 1	Región2	Región 3
890-942 Fijo Móvil, salvo móvil aeronáutico Radiodifusión Radiolocalización	890-902 Fijo Móvil, salvo móvil aeronáutico Radiolocalización 902-928 Fijo Aficionados Móvil, salvo móvil aeronáutico Radiolocalización	890-942 Fijo Móvil Radiodifusión Radiolocalización

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

	928-942 Fijo Móvil, salvo móvil aeronáutico Radiolocalización	
942-960 Fijo Móvil, salvo móvil aeronáutico Radiodifusión	942-960 Fijo Móvil	942-960 Fijo Móvil Radiodifusión
960-1215	Radiónavegación aeronáutica	
1215-1240	Radiolocalización Radiónavegación por satélite (espacio-tierra) Exploración de la tierra por satélite (activo) Investigación espacial (activo)	
1240-1260	Radiolocalización Exploración de la tierra por satélite (activo) Radiónavegación por satélite (espacio-tierra) Investigación espacial(activo) Aficionados	
1260-1300	Radiolocalización Exploración de la tierra por satélite (activo) Investigación espacial (activo) Aficionados	
1300-1350	Radiolocalización Radiónavegación aeronáutica	
1350-1400 Fijo Radiolocalización Móvil	1350-1400 Radiolocalización	
1400-1427	Exploración de la tierra por satélite (pasivo) Radioastronomía Investigación espacial (pasivo)	
1427-1429	Fijo Móvil, salvo móvil aeronáutico Operaciones especiales (tierra-espacio)	
1429-1452 Fijo Móvil, salvo móvil aeronáutico	1429-1452 Fijo Móvil	
1452-1492 Fijo Móvil, salvo móvil aeronáutico Radiodifusión Radiodifusión por satélite	1452-1492 Fijo Móvil Radiodifusión Radiodifusión por satélite	

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Atribución de frecuencia de los servicios (MHz)		
1492-1525 Fijo Móvil, salvo móvil aeronáutico	1492-1525 Fijo Móvil Móvil por satélite (espacio-tierra)	1492-1525 Fijo Móvil
Región 1	Región 2	Región 3
1525-1530 Fijo Móvil, salvo móvil aeronáutico Operaciones espaciales (espacio-tierra) Móvil por satélite (espacio-tierra) Exploración de la tierra por satélite	1525-1530 Fijo Móvil Exploración de la tierra por satélite Operaciones espaciales (espacio-tierra) Móvil por satélite (espacio-tierra)	1525-1530 Fijo Móvil Exploración de la tierra por satélite Operaciones espaciales (espacio-tierra) Móvil por satélite (espacio-tierra)
1530-1535 Fijo Móvil, salvo móvil aeronáutico Exploración de la tierra por satélite Operaciones especiales (espacio-tierra) Móvil por satélite (espacio-tierra)	1530-1535 Fijo Móvil Exploración de la tierra por satélite Operaciones espaciales (espacio-tierra) Móvil por satélite (espacio-tierra)	
1535-1559	Móvil por satélite (espacio-tierra)	
1559-1610	Radionavegación por satélite (espacio-tierra) Radionavegación aeronáutica	
1610-1610.6 Radionavegación aeronáutica Móvil por satélite (tierra-espacio)	1610-1610.6 Radionavegación aeronáutica Móvil por satélite (tierra-espacio) Radiodeterminación por satélite (tierra-espacio)	1610-1610.6 Radionavegación aeronáutica Móvil por satélite (tierra-espacio) Radiodeterminación por satélite (tierra-espacio)
1610.6-1613.8 Radionavegación aeronáutica Móvil por satélite (tierra-espacio) Radioastronomía	1610.6-1613.8 Radioastronomía Radionavegación aeronáutica Móvil por satélite (tierra-espacio) Radiodeterminación por satélite (tierra-espacio)	1610.6-1613.8 Radioastronomía Radionavegación aeronáutica Móvil por satélite (tierra-espacio) Radiodeterminación por satélite (tierra-espacio)
1613.8-1626.5	1613.8-1626.5	1613.8-1626.5

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Radionavegación aeronáutica Móvil por satélite (espacio-tierra) Móvil por satélite (tierra-espacio)	Radionavegación aeronáutica Móvil por satélite (espacio-tierra) Móvil por satélite (tierra-espacio) Radiodeterminación por satélite (tierra-espacio)	Radionavegación aeronáutica Móvil por satélite (tierra-espacio) Móvil por satélite (espacio-tierra) Radiodeterminación por satélite (tierra-espacio)
1626.5-1660		
Móvil por satélite (tierra-espacio)		
Atribución de frecuencia de los servicios (MHz)		
1660-1660.5	Móvil por satélite (tierra-espacio) Radioastronomía	
1660.5-1668.4	Fijo Móvil, salvo móvil aeronáutico Radioastronomía Investigación espacial (pasivo)	
1668.4-1670	Fijo Móvil, salvo móvil aeronáutico Radioastronomía Ayudas a la meteorología	
1670-1675	Fijo Móvil Ayudas a la meteorología Metereología por satélite (espacio-tierra)	
1675-1690 Fijo Móvil, salvo móvil aeronáutico Ayudas a la meteorología Metereología por satélite (espacio-tierra)	1675-1690 Fijo Móvil, salvo móvil aeronáutico Móvil por satélite (tierra-espacio) Ayudas a la meteorología Metereología por satélite (espacio-tierra)	1675-1690 Fijo Móvil, salvo móvil aeronáutico Ayudas a la meteorología Metereología por satélite (espacio-tierra)
Región 1	Región 2	Región 3
1690-1700 Fijo Móvil, salvo móvil aeronáutico Ayudas a la meteorología Metereología por satélite (espacio-tierra)	1690-1700 Móvil por satélite (tierra-espacio) Ayudas a la meteorología Metereología por satélite (espacio-tierra)	1690-1700 Ayudas a la meteorología Metereología por satélite (espacio-tierra)
1700-1710 Fijo Móvil, salvo móvil aeronáutico Metereología por satélite (espacio-tierra)	1700-1710 Fijo Móvil, salvo móvil aeronáutico Móvil por satélite (tierra-espacio) Metereología por satélite	1700-1710 Fijo Móvil, salvo móvil aeronáutico Metereología por satélite (espacio-tierra)

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

	(espacio-tierra)	
1710-1930	Fijo Móvil	
1930-1970 Fijo Móvil	1930-1970 Fijo Móvil Móvil por satélite (tierra-espacio)	1930-1970 Fijo Móvil
1970-1980	Fijo Móvil	
1980-2010	Fijo Móvil Móvil por satélite (tierra-espacio)	
2010-2025 Fijo Móvil	2010-2025 Fijo Móvil Móvil por satélite (tierra-espacio)	2010-2025 Fijo Móvil
Región 1 2025-2110	Región2	Región 3
	Fijo Móvil Operaciones espaciales (tierra-espacio) (espacio-tierra) Exploración de la tierra por satélite (tierra-espacio, espacio-tierra) Investigación espacial (tierra-espacio, espacio-tierra)	
2110-2120	Fijo Móvil Investigación espacial (tierra-espacio, espacio lejano)	
2120-2160 Fijo Móvil	2120-2160 Fijo Móvil Móvil por satélite (espacio-tierra)	2120-2160 Fijo Móvil
2160-2170 Fijo Móvil	2160-2170 Fijo Móvil Móvil por satélite (espacio-tierra)	2160-2170 Fijo Móvil

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Región 1	Región 2	Región 3
2170-2200	Fijo Móvil Móvil por satélite (espacio-tierra)	
2200-2290	Fijo Móvil Operaciones espaciales (tierra-espacio) (espacio-tierra) Exploración de la tierra por satélite (tierra-espacio, espacio-tierra) Investigación espacial (tierra-espacio, espacio-tierra)	
2290-2300	Fijo Móvil, salvo móvil aeronáutico Investigación espacial (espacio lejano, espacio-tierra)	
2300-2450 Fijo Móvil Radiolocalización Aficionados	2300-2450 Fijo Móvil Radiolocalización Aficionados	
2450-2483.5 Fijo Móvil Radiolocalización	2450-2483.5 Fijo Móvil Radiolocalización	
2483.5-2500 Fijo Móvil Móvil por satélite (espacio-tierra) Radiolocalización	2483.5-2500 Fijo Móvil Móvil por satélite (espacio-tierra) Radiodeterminación por satélite (espacio-tierra) Radiolocalización	2483.5-2500 Fijo Móvil Móvil por satélite (espacio-tierra) Radiolocalización Radiodeterminación por satélite (espacio-tierra)
2500-2520 Fijo Móvil, salvo móvil aeronáutico Móvil por satélite (espacio-tierra)	2500-2520 Fijo Fijo por satélite (espacio-tierra) Móvil, salvo móvil aeronáutico Móvil por satélite (espacio-tierra)	
2520-2655 Fijo Móvil, salvo móvil aeronáutico Radiodifusión por satélite	2520-2655 Fijo Fijo por satélite (espacio-tierra) Móvil, salvo móvil aeronáutico Radiodifusión por satélite	2520-2535 Fijo Fijo por satélite (espacio-tierra) Móvil, salvo móvil aeronáutico Radiodifusión por satélite 2535-2655 Fijo Radiodifusión por satélite Móvil, salvo móvil aeronáutico
2655-2670 Fijo	2655-2670 Fijo	2655-2670 Fijo

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Móvil, salvo móvil aeronáutico Radiodifusión por satélite Radioastronomía Exploración de la tierra por satélite (pasivo) Investigación espacial (pasivo)	Fijo por satélite (espacio-tierra, tierra-espacio) Móvil, salvo móvil aeronáutico Radiodifusión por satélite Radioastronomía Exploración de la tierra por satélite (pasivo) Investigación espacial (pasivo)	Fijo por satélite (tierra-espacio) Móvil, salvo móvil aeronáutico Radiodifusión por satélite Radioastronomía Exploración de la tierra por satélite (pasivo) Investigación espacial (pasivo)
2670-2690 Fijo Móvil, salvo móvil aeronáutico Móvil por satélite (tierra-espacio) Radioastronomía Exploración de la tierra por satélite (pasivo) Investigación espacial (pasivo)	2670-2690 Fijo Fijo por satélite (espacio-tierra, tierra-espacio) Móvil, salvo móvil aeronáutico Radiodifusión por satélite Radioastronomía Exploración de la tierra por satélite (pasivo) Investigación espacial (pasivo)	2670-2690 Fijo Fijo por satélite (tierra-espacio) Móvil, salvo móvil aeronáutico Radiodifusión por satélite Radioastronomía Exploración de la tierra por satélite (pasivo) Investigación espacial (pasivo)
Región 1	Región2	Región 3
2690-2700 Radioastronomía Exploración de la tierra por satélite (pasivo) Investigación espacial (pasivo)		
2700-2900 Radionavegación aeronáutica Radiolocalización		
2900-3100 Radionavegación Radiolocalización		
3100-3300 Radiolocalización Exploración de la tierra por satélite (activo) Investigación espacial (pasivo)		
3300-3400 Radiolocalización	3300-3400 Radiolocalización Aficionados Fijo Móvil	3300-3400 Radiolocalización Aficionados
3400-3600 Fijo Fijo por satélite (espacio-tierra) Móvil Radiolocalización	3400-3500 Fijo Fijo por satélite (espacio-tierra) Aficionados Móvil Radiolocalización	

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

3600-4200 Fijo Fijo por satélite (espacio-tierra) Móvil	3500-3700 Fijo Fijo por satélite (espacio-tierra) Móvil Radiolocalización
	3700-4200 Fijo Fijo por satélite (espacio-tierra) Móvil, salvo móvil aeronáutico
4200-4400 Radionavegación aeronáutica	
4400-4500 Fijo Móvil	
4500-4800	Fijo Fijo por satélite (espacio-tierra) Móvil

Sobre el Reglamento de Radiocomunicaciones, se hacen las siguientes puntualizaciones:

1.- Se puede atribuir una banda de frecuencias con categoría de primario o secundario de acuerdo a la escasez del espectro. La categoría primario tiene prioridad sobre la categoría secundario.

2.- El RR define el Servicio Móvil Terrestre por Satélite cuando la terminal está ubicada en un coche, camión o tren, el Servicio Móvil Marítimo por Satélite cuando la terminal está en un barco y por último el Servicio Móvil Aeronáutico por Satélite cuando la terminal está a bordo de un avión.

3.- Una atribución de frecuencias puede estar asignada a las tres regiones en que divide la UIT al mundo, en tal caso se dice que es una atribución mundial, o bien de manera particularizada para una o dos regiones y en tal caso se dice que es una atribución regional.

4.- La UIT ha dado relevancia a los Sistemas Públicos de Telecomunicaciones Móviles Terrestres desde su comienzo. Estos sistemas tienen una componente terrenal y una componente espacial o por satélite.

La explosión de los Servicios Móviles, tanto por satélite como terrenales, obligó a los reguladores a tomar cartas sobre el asunto. En particular por los Sistemas Globales de Comunicaciones Personales por Satélite que han surgido.

Debido a ello, en la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones de 1992 se decidió atribuir espectro a los Servicios Móviles por Satélite para dar cabida a estos sistemas. Adicionalmente, también se estaba notando saturación del espectro por parte de los sistemas móviles por satélites "clásicos" o de tipo 1 (el tipo 1 suministra servicio de comunicaciones móviles por satélite, pero no suministra comunicaciones personales, a través de satélites geoestacionarios, el tipo 2 provee de comunicaciones personales por satélite y suministra el servicio por medio de satélites no-geoestacionarios).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Desde esa conferencia, se hicieron las modificaciones pertinentes en el articulado del RR para hacer una serie de atribuciones de bandas de frecuencias a determinados servicios.

El punto 2.2.4 de la CMR-1992, establece que se atribuye la gama de frecuencias de 1-3 GHz para el Servicio Móvil por Satélite. Se buscó alguna banda o bandas por debajo de 1 GHz para los sistemas No-Geo, dejando en claro que si se encontraba estas bandas no implicaban que las atribuciones de 1-3 GHz fueran exclusivas del tipo 1, sino de ambos tipos.

La CMR-1992 dejó una serie de dudas sin cerrar con respecto al tema de las atribuciones de frecuencias. Estas se intentaron resolver en la CMR-1995, en lo que a servicios móviles por satélite se refiere, en exclusiva, al servicio no-geo. Básicamente se abordaron dos temas:

1.- Modificación de la fecha de entrada en vigor de determinadas atribuciones al SMS hechas en la DMR-1992

2.- La realización de atribuciones de frecuencia para dar cabida a los enlaces de conexión de los sistemas no-geo

BANDA DE FRECUENCIAS	DIRECCION	USUARIOS PROPONENTES
5091-5250 MHz	Ascendente	ICO, Globalstar
6700-7075 MHz	Descendente	ICO, Globalstar, Constellation, Ellipso
15.45-15.65 GHz	Ascendente	Ellispo, Constellation, otros
19.3-19.6 GHz	Descendente	Iridium
19.3-19.6 GHz 29.1-29.4 GHz	Ascendente	Iridium

Tabla V.5
Bandas de frecuencia para enlaces de conexión.

La razón de fondo reside en que dichas bandas están compartidas con el servicio fijo (radioenlaces) y precisamente son muy usadas para este cometido.

Muchos de los problemas reglamentarios que presentan los sistemas no-geo aún no están lo suficientemente estudiados debido a que son temas muy novedosos y complejos y además necesitan de un gran consenso mundial. Para conseguir este consenso están varias entidades puestas en marcha, en particular la Unión Europea y la UIT.

V.2.2 NORMALIZACIÓN DE LAS TELECOMUNICACIONES EN MÉXICO

En el sector de las telecomunicaciones en México, se creó el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información (CCNN-CTI), el cual dejó de funcionar a partir del 5 de marzo de 1998, para dar paso a la creación de dos

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

nuevos comités: el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Telecomunicaciones (CCNN-T, formado por tres sub comités: el de Redes de Telecomunicaciones, el de Radiocomunicaciones y Servicios Satelitales y el de Tecnologías de la Información), presidido por la Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL) y el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Radiodifusión, Telegrafía y Servicio Postal (CCNN-RTSP), presidido por la Subsecretaría de Comunicaciones de la SCT. Entre sus actividades se encuentran:

- Impulso a la participación, tanto del Sector Privado como del Gobierno Mexicano, en los foros internacionales para el desarrollo y la cooperación en materia de telecomunicaciones (UIT, CITEL, ISO, IEC).
- Los trabajos relativos a los programas nacionales de Normalización 1998 y 1999 en materia de telecomunicaciones, en el marco del CCNN-T.
- Los trabajos conjuntos entre la autoridad federal de las telecomunicaciones y la industria, en torno a la elaboración de un nuevo Procedimiento de Homologación de Equipo de Telecomunicaciones, el cual se encuentra en proceso.
- El estudio permanente de las recomendaciones internacionales para obtener referencias válidas para retroalimentar el esfuerzo nacional de normalización.
- Administración del espectro radioeléctrico.

El espectro radioeléctrico, se subdivide en 9 bandas de frecuencias, que se designan por números enteros como se muestra en el siguiente cuadro:

Número de la banda	Símbolo	Gama de frecuencias (Excluido el límite inferior, pero incluido el superior)	Subdivisión métrica correspondiente
4	VLF	3 a 30 KHz	Ondas miriamétricas
5	LF	30 a 300 KHz	Ondas kilométricas
6	MF	300 a 3000KHz	Ondas hoctométricas
7	HF	3 a 30 MHz	Ondas decamétricas
8	VHF	30 a 300 MHz	Ondas métricas
Número de la banda	Símbolo	Gama de frecuencias (Excluido el límite inferior, pero incluido el superior)	Subdivisión métrica correspondiente
9	UHF	300 a 3000 MHz	Ondas decimétricas
10	SHF	3 a 30 GHz	Ondas centimétricas
11	EHF	30 a 300 GHz	Ondas milimétricas
12		300 a 3000 GHz	Ondas decimilimétricas

Tabla V.6
Bandas de frecuencia

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Proceso de homologación de productos de telecomunicaciones:

Tomando en cuenta que el fomento al comercio de aparatos y demás productos utilizados en el sector de las telecomunicaciones es una de las aplicaciones más importantes de la normalización, a fin de que quienes fabriquen, importen, comercialicen y utilicen estos productos cumplan con ciertas características y especificaciones establecidas en las normas técnicas, es preciso asegurar su cumplimiento mediante los procedimientos de autorización de equipo, que en México reciben el nombre de homologación. La Homologación es, de acuerdo con el Artículo 7 fracción V de la Ley Federal de Telecomunicaciones, el acto por el cual la Secretaría de Comunicaciones y Transportes reconoce oficialmente que las especificaciones de un producto destinado a telecomunicaciones satisfacen las normas y requisitos establecidos, por lo que puede ser conectado a una red pública de telecomunicaciones o hacer uso del espectro radioeléctrico. De acuerdo con el Decreto de creación de la COFETEL (DOF: agosto 9 de 1996), con su Reglamento Interno (DOF: diciembre 9 de 1996) y con el Reglamento Interior de la SCT (DOF: octubre 29 de 1996), corresponde a la COFETEL establecer los procedimientos para la adecuada homologación de equipos.

Actualmente la COFETEL está llevando a cabo la reformulación de los procedimientos de homologación a fin de incorporar los elementos pertinentes de las reformas a la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, del Reglamento de dicha Ley y de los acuerdos y tratados que el país ha estado celebrando en diferentes instancias de relaciones internacionales.

La modernización del país, que en buena medida pasa por la evolución de su infraestructura de telecomunicaciones, requiere de la existencia de normas nacionales tanto para la selección de las mejores opciones tecnológicas como para realizar las adquisiciones correspondientes en las mejores condiciones. Es por eso que el Área General de Ingeniería y Tecnología de la COFETEL ha dispuesto en su estructura funcional una Dirección de Normas y Regulaciones Técnicas, adscrita a la Dirección General de Estudios Técnicos, Investigación y Desarrollo (DGETID), para que de manera regular y programática realicen actividades de fomento y regulación de la normalización de las telecomunicaciones en nuestro país, incluyendo sus necesarios procedimientos de evaluación de la conformidad y los correspondientes a la homologación o autorización de productos empleados en el sector.

CAPÍTULO 6 FRECUENCIAS PARA ENLACES SATELITALES EN MÉXICO

VI. 1 INTRODUCCIÓN

Actualmente, con muy pocas excepciones, todos los enlaces satelitales entre dos terminales, se efectúan a través de un solo satélite geoestacionario; un enlace ascendente entre la terminal transmisora y el satélite, y un enlace descendente entre el satélite y la terminal receptora.

Los enlaces están constituidos por radiación electromagnética, la cual es dirigida con haces de mayor o menor concentración. Las bandas de frecuencia empleadas se encuentran reguladas por la COFETEL a nivel nacional y por la UIT internacionalmente.

Las principales señales transmitidas por los enlaces del servicio móvil por satélite son: telefonía, facsímil, transmisión de datos, de televisión y programas radiofónicos. Los enlaces descendentes que encaminan los dos últimos tipos de transmisión pública están excluidos del servicio fijo por satélite en el caso de la recepción pública general directa, pues están cubiertos por el servicio de radiodifusión por satélite (SRS).

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LAS TELECOMUNICACIONES DE LOS SISTEMAS MÓVILES SATELITALES.

Los sistemas de telecomunicaciones por satélite tienen un cierto número de características que son peculiares:

- i) Los enlaces por satélite permiten las comunicaciones entre puntos sobre la superficie de la tierra sin ninguna estructura intermedia.
- ii) Para ser cubiertos por satélite los puntos a dar servicio deben estar situados no sólo en la región de la tierra visible desde el satélite geoestacionario sino también dentro de las zonas geográficas cubiertas por los haces de las antenas del satélite, denominándose a estas zonas de cobertura del sistema de telecomunicaciones por satélite.
- iii) Como el satélite geoestacionario está colocado a una distancia muy grande de la tierra (aproximadamente 36,000 km por encima del llamado punto "subsatelital", satélite), la enorme pérdida de propagación en el espacio libre (unos 200 dB a 6 GHz) debe compensarse en la tierra mediante :
 - Antenas de elevada ganancia (alta calidad de funcionamiento) con baja sensibilidad al ruido y a la interferencia.
 - Receptores de alta sensibilidad (con un nivel de ruido interno muy bajo).
 - Transmisores de gran potencia.

VI. 2 DISEÑO DE ENLACE PARA UNA COMUNICACIÓN.

Para que un enlace se realice satisfactoriamente, deben considerarse características de las unidades de equipo en la estación terrena y/o terminal móvil y el transpondedor utilizado, así como las características del medio de propagación y los efectos de radiaciones no deseadas de origen externo.

La señal emitida por el transmisor debe llegar a la estación receptora con la potencia suficiente para garantizar una comunicación adecuada, a pesar de las pérdidas y el ruido introducidos en su propagación. Por lo anterior, es necesario diseñar un cálculo de enlace de acuerdo a las necesidades del mismo.

Las principales consideraciones que se involucran en una comunicación son:

- Tipo de enlace.
- Localidades a enlazar.
- Servicio a cursar.
- Tipo de modulación.
- Pérdidas.

El cálculo de enlaces vía satélite es un procedimiento matemático que tiene como finalidad obtener los valores de potencia necesaria para comunicar dos o más terminales tomando en cuenta las consideraciones físicas relacionadas con el viaje de la señal por el espacio libre.

El contexto del diseño del cálculo de enlace constituye la base matemática para la dimensión de los equipos que se utilizan en las terminales, es útil para determinar la cantidad de potencia necesaria para que la comunicación entre dos o más, y se realice con la calidad deseada.

La metodología de cálculo que emplearemos se basa en dividir al cálculo del enlace satelital (enlace ascendente / descendente). Dándose en este enlace múltiples consideraciones para efectos del cálculo de enlace, como se observa en la Figura VI. 1:

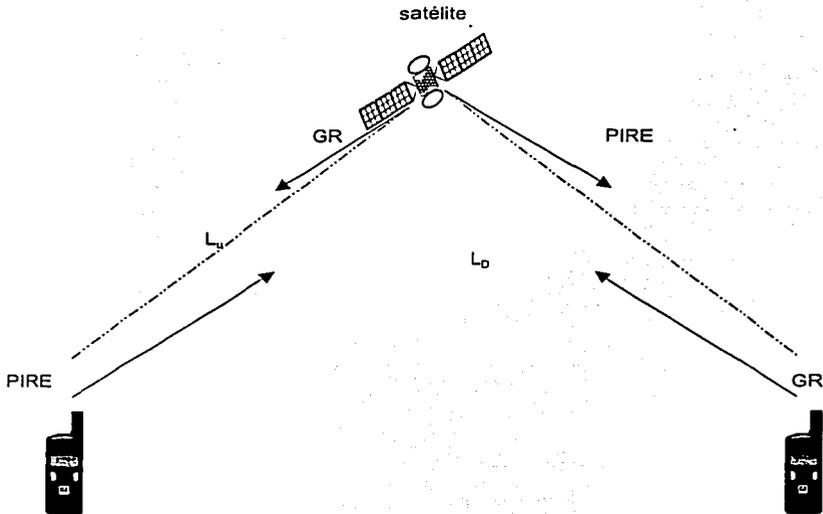


Figura VI. 1
Enlace de comunicación vía satélite.

donde:

PIRE es la potencia radiada efectiva.

GR es la ganancia de recepción.

L_u es el total de pérdidas en el espacio en el enlace de subida.

L_b es el total de pérdidas en el espacio en el enlace de bajada.

Cabe señalar que es importante considerar otros factores clave para el cálculo de la potencia requerida, como son: Latitud, Longitud, Altura, Polarización.

Para el caso de un enlace punto a punto, es decir fijo, es necesario tomar en cuenta otros factores como el azimut, ángulo de elevación, pérdidas en el sistema de transmisión, entre otros.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

VI. 2.1 TIPO DE ENLACE.

El tipo de enlace se refiere al hecho de que la comunicación sea interactiva o si únicamente una estación transmite y otra recibe.

VI. 2.2 LOCALIDADES A ENLAZAR.

En la ubicación de las terminales se debe tomar en consideración zonas hidrometeorológicas, direccionamiento de antenas, regiones de cobertura, potencia radiada del satélite (PIRE), y pérdidas por dispersión.

VI. 2.3 SERVICIO A CURSAR

El servicio que ofrece una comunicación vía satélite (por ejemplo MOVISAT) con datos y voz, cada servicio demanda diversos parámetros para su transmisión.

Es importante señalar que para datos, la velocidad de transmisión puede ser menor a la velocidad utilizada para voz. De igual jerarquía el ancho de banda utilizado difiere para cada servicio. En consecuencia la velocidad de transmisión y ancho de banda depende del tipo de servicio a emplear.

VI. 2.4 TIPO DE MODULACIÓN

La modulación utilizada en los enlaces satelitales, es digital y típicamente se utiliza la modulación QPSK.

Para obtener la velocidad de transmisión y ancho de banda, como ya se mencionó, interviene el tipo de servicio, sin embargo la modulación empleada afecta en forma directa los valores de velocidad y ancho de banda.

VI. 2.5 PÉRDIDAS.

VI. 2.5.1 LA INFLUENCIA DE LA LLUVIA.

La atmósfera produce una pequeña atenuación, adicional a la propagación en el vacío, debido a la absorción de energía de las ondas por las moléculas de los gases y el vapor de agua. Esta atenuación tiene una importancia creciente en frecuencias por encima de los 10 GHz.

La lluvia puede producir atenuaciones importantes, tanto mayores cuanto más intensa la precipitación y cuanto más elevada es la frecuencia de las ondas.

Este tipo de atenuación, por su naturaleza aleatoria, obliga a evaluar la disponibilidad (% de tiempo) de los enlaces mediante datos estadísticos sobre climatología local de la ubicación de la terminal. En los cálculos normalmente se cuenta con un margen de atenuación adicional permisible para el enlace, a fin de mantener al nivel de calidad mínimo adoptado para el servicio.

Las precipitaciones también pueden dar lugar a un aumento del nivel de interferencias, es decir, recepción de señales indeseadas procedentes de emisiones de otros transmisores ajenos a la comunicación efectuada.

VI. 2.5.2 EFECTOS DEL HIELO

Otro efecto que también produce interferencias importantes de las telecomunicaciones por satélite es el producido por el hielo en el emplazamiento de la antena terrestre, principalmente. La antena está diseñada de forma que se reflejen las señales en el punto focal. Cuando se acumula hielo en la antena, pueda ocurrir que las señales no se reflejen en la dirección de dicho foco, sino en muchas direcciones, distorsionando la señal original.

VI. 2.5.3 EFECTOS DE PROPAGACIÓN

Uno de los problemas más importantes de los sistemas de comunicaciones por satélite que proporcionan servicio móvil terrestre es la pobre propagación que sufren las señales. Las señales pueden llegar a la terminal del cliente siguiendo diferentes caminos. Afortunadamente, la elevada altura de la fuente de emisión hace que el tiempo de dispersión de las señales sea mucho menos importante que el que podemos encontrar en los sistemas celulares terrestres. La principal dificultad con la que nos encontramos es el

bloqueo parcial o total que puede sufrir el rayo directo a los diferentes elementos que se hallaran alrededor del cliente-receptor. Por ejemplo la absorción debido al follaje de los árboles o la reflexión de edificios, puede provocar variaciones en el nivel de recepción de la señal.

VI. 2.5.4 OTROS EFECTOS.

Atenuación debido a gases atmosféricos.

La atenuación debida a gas en la atmósfera depende de la frecuencia, el ángulo de elevación, la altitud de la estación o terminal y de la concentración del vapor de agua. La atenuación es insignificante a frecuencias menores a 10 GHz y no excede de 1 a 2 dB a 22 GHz, para medios atmosféricos húmedos y con ángulo de elevación más grande de 10°.

Atenuación por tormentas de arena.

La atenuación específica en dB/km es inversamente proporcional a la visibilidad y depende fuertemente de la humedad de las partículas. A 14 GHz es del orden de 0.03 dB/km para partículas secas y de 0.65 dB/km para partículas con 20% de humedad. Si el patrón de longitud es 3 km, la atenuación puede alcanzar 1 o 2 dB.

Refracción.

La troposfera y la ionosfera tienen diferentes índices de refracción. El índice de refracción de la troposfera decrece con la altitud, es una función de condiciones meteorológicas y es independiente de la frecuencia. En la ionosfera si afecta dependiendo la frecuencia y el contenido electrónico de la ionosfera. Ambas son objeto de fluctuaciones rápidas locales. El efecto de refracción es por causa de la curvatura de la onda, variación de la velocidad de la onda y por lo tanto del tiempo de propagación. Las variaciones del índice de refracción llamado "centellante" (scintillation), causa variaciones en el ángulo de llegada, amplitud y fase de la onda transmitida. El fenómeno más inquieto es el centelleo de la ionosfera, el cual es mayor cuando la frecuencia es baja y la estación o terminal está cerca del ecuador. La señal recibida varía en amplitud y las amplitudes pico a pico de esas variaciones, a una frecuencia de 11 GHz y medianas altitudes, puede exceder 1 dB para 0.01% del tiempo. El otro fenómeno es significativo sólo para ángulos de elevación bajos (menores de 10°).

El Efecto Faraday.

La ionosfera introduce una rotación del plano de polarización de una onda polarizada linealmente. El ángulo de rotación es inversamente proporcional al cuadrado de la frecuencia. Este es función del contenido electrónico de la ionosfera y por consecuencia varía con el tiempo, la temporada y el ciclo solar. El orden de magnitud es de varios grados

a 4 GHz. Desde que las variaciones cíclicas pueden ser predecidas, este efecto puede ser compensado por una rotación consecuente de la polarización de la antena. Sin embargo, existen algunas perturbaciones que son repentinas e impredecibles.

Como podemos apreciar, el diseño de los enlaces depende de diversos factores, tales como la distancia del satélite a la zona de cobertura, el ruido interno y externo, la absorción de la radiación en el espacio, la polarización, las interferencias por la compartición de la banda con servicios terrestres y con otros sistemas de satélites, y el margen requerido para conservar la operación dentro del valor de continuidad deseado ante variaciones ocasionales estadísticamente previsible, causadas por perturbaciones atmosféricas. Sin embargo, la banda de frecuencias en que opere una red de comunicaciones móviles satelitales, hace que algunos de los factores mencionados tengan una importancia menor o mayor en el diseño del cálculo de enlace.

Desde un punto de vista muy realista, la omisión de considerar los factores que degradan los enlaces, en subestimar algunos de ellos, o no considerar reservas de capacidad operativa para ampliaciones, puede reflejarse en un costo aparentemente menor de éstas y en errores que impidan la operación en la forma deseada, que a la postre se revierten en un alto costo por la necesidad de hacer las modificaciones pertinentes.

VI. 3 SISTEMA DE SATÉLITES SOLIDARIDAD.

Los satélites Solidaridad, forman parte de la segunda generación de satélites mexicanos compuesto por dos satélites híbridos casi idénticos, triaxialmente estabilizados que operan en las bandas de frecuencia L, C y Ku. El sistema Solidaridad son satélites de comunicaciones de cobertura regional, que proporcionan servicio a regiones muy grandes. Estos satélites tienen una vida útil estimada de 14 años.

El satélite Solidaridad II, junto con el satélite Sاتمx V forman el Sistema de Satélites Mexicanos cuyo estado operativo dentro de los parámetros orbitales es responsabilidad del Centro de Control Primario Satelital ubicado en Iztapalapa, el cual tiene un Centro de Control Alterno como respaldo ubicado en Hermosillo, Sonora, siendo casi todo esto propiedad de la empresa SATMEX.

VI. 3.1 POSICIÓN ORBITAL.

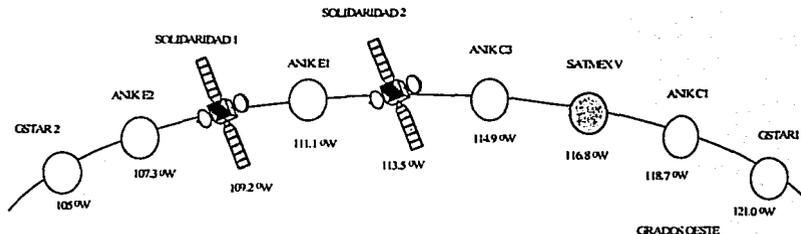


Figura VI. 2
Posición de los satélites Solidaridad

El satélite Solidaridad se encuentran ubicados en el arco orbital geostacionario, el cual por sus características de mantener al satélite prácticamente inmóvil con respecto a una estación terrena se encuentra completamente saturado.

En 1988 la Administración Mexicana firmó un acuerdo trilateral con los gobiernos de Canadá y Estados Unidos de América para un plan de transición orbital en el cual los satélites comprendidos en el arco orbital de 103° a 123° de longitud oeste, tendrían una separación de 1.9° mínima, para operar satisfactoriamente.

Como resultado de los convenios realizados, las posiciones orbitales del sistema de satélites mexicanos en el arco geostacionario están conformadas de la siguiente manera: SATMEX V en 116.8°, Solidaridad I en 109.2° (posición ocupada por satmex VI) y Solidaridad II en 113° posición ocupada anteriormente por el MORELOS 1. (Figura VI. 2).

VI. 3.2 COBERTURAS.

El sistema de satélites Solidaridad cuenta con las siguientes coberturas en tres bandas satelitales.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

BANDA C.

En esta banda se proporciona servicio a las regiones R1 (México, Guatemala, Belice, Suroeste de E.U.A., y Norte de Centroamérica), R2 (cobertura de R1 además del Caribe, Centroamérica y la parte norte de Sudamérica) y R3 (la mayor parte de Sudamérica). En esta banda se pueden proporcionar servicio de transmisión de señales analógicas (telefonía, televisión y tele audición), así como señales digitales (voz, datos, televisión y tele audición) (Figura VI. 3).

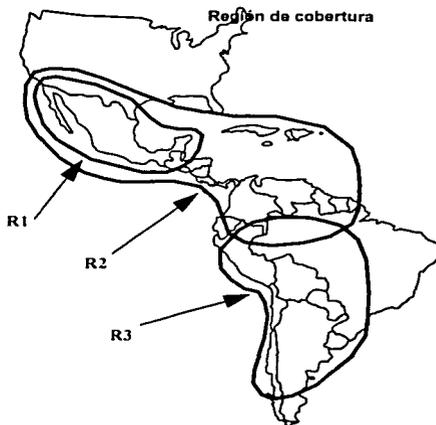


Figura VI. 3

de la banda C.

BANDA L.

El objetivo de esta banda es proporcionar servicio de comunicación móvil de voz y datos, así como de telefonía rural en toda la república mexicana, incluyendo 200 millas náuticas correspondientes a la mayor parte del mar patrimonial.

Las unidades móviles pueden ser marítimas, aéreas y terrestres, estas últimas pueden ser semifijas y son utilizadas en la telefonía rural. (Figura VI. 4).

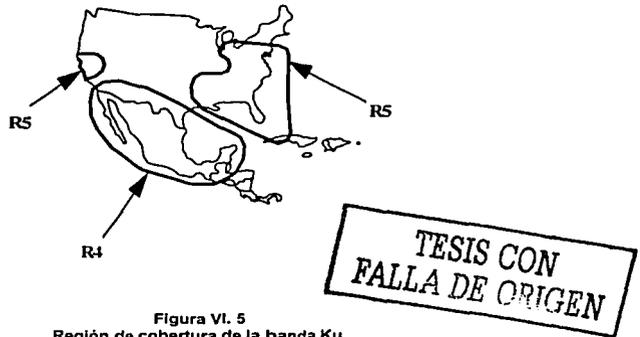


Figura VI. 4
Región de cobertura de la
banda L.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

BANDA KU.

En esta banda se presta servicio a las regiones R4 (México y parte sur de E.U.A.) y R5 (ciudades clave de E.U.A. como Chicago, New York, Washington D.C., San Francisco, Miami, Tampa, Dallas, Houston, San Antonio.), Con frecuencias para el enlace ascendente desde 14 GHz hasta 14.5 GHz y para el enlace descendente desde 11.7 GHz hasta 12.2 GHz. (Figura VI. 5)



VI. 4 CÁLCULO DE ENLACE MÓVIL SATELITAL PARA EL SATÉLITE SOLIDARIDAD.

La finalidad de entablar un cálculo de enlace en la presente, es con objeto de ejemplificar como es afectado un enlace en diferentes rangos de frecuencias. Pero es importante aclarar que se toman los factores básicos para la realización de dichos cálculos.

Primero es necesario definir la distancia del satélite hacia la zona de cobertura, lo cual se determina de la siguiente forma:

Cálculo de distancia de una localidad hacia el satélite Solidaridad I.

La ubicación del satélite Solidaridad I es 109.2° oeste y la ubicación de las diferentes localidades del país se encuentran en la tabla 1.

Para el cálculo de la distancia entre la estación terrena y el satélite se utiliza la siguiente relación:

$$D = \{ d^2 + de^2 - (2 de (d) \text{sen} (E + \text{sen}^{-1} ((de / d) \text{cos} E))) \}^{1/2}$$

Donde:

$E = \tan^{-1} [(d - de (W) / (de \sin (\cos^{-1} W))] - \cos^{-1} W$ (ángulo de elevación).
 $W = \cos (\text{LATITUD } E/T) (\cos [\text{LONGITUD DEL SATELITE} - \text{LONGITUD } E/T])$
 $d =$ Distancia promedio del centro de la tierra al satélite, 42164.2 km. .
 $de =$ Radio promedio de la tierra 6378.155 km.
 $E/T =$ Estación terrena.

Localidad	Altitud (m)	Longitud (°)	Latitud (°)	Precipitación n pluvial (mm/hr)	Distancia hacia satélite Solidaridad (km)
Acapulco, Gro.	1699	99.55	16.51	33.33	36195.49533
Aguascalientes, Ags.	1908	102.03	21.86	8.90	36376.07426
Cancún, Q. Roo	10	86.46	21.05	21.66	36817.83279
Cd. Juárez, Chih.	1127	104.29	31.44	4.59	36895.66663
Coatzacoalcos, Ver.	1487	94.45	18.20	25.25	36392.13045
Culliacán, Sin.	53	107.40	24.82	10.50	36476.89246
Chetumal, Q. Roo	6	88.18	18.30	21.66	36630.92757
Chihuahua, Chih.	2800	106.06	28.65	5.55	36704.26202
Ensenada, BBC.	24	116.37	31.52	4.70	36926.73591
Guadalajara, JAL.	1589	103.20	20.4	15.04	36292.37282
Hermosillo, Son.	237	110.58	29.04	4.07	36720.52384
La paz, B.C.S.	10	110.18	24.1	3.41	36436.19115
León, Gto.	2037	101.25	21.07	11.40	36351.41205
Matamoros, Tamps.	321	97.30	25.53	12.48	36654.99367
Mérida, Yuc.	9	89.37	20.58	15.67	36671.84512
Mexicali, B.C.	4	115.45	32.65	1.00	36990.8726
México, D.F.	2246	99.01	19.24	12.01	36313.807
Monterrey, N.L.	538	100.19	25.40	10.50	36587.27144
Pto. Escondido, Oax.	2000	97.10	15.50	13.13	36217.64447
Puebla, Pue.	1563	98.20	19.03	10.80	36323.24646
San Luis Potosí, S.L.P.	1877	100.98	22.15	5.98	36406.7747
Tampico, Tamps.	321	97.85	22.21	12.48	36473.08952
Tapachula Chis.	160	92.17	14.54	41.71	36341.38705
Tijuana, B.C.	26	117.01	32.32	3.27	36988.98955
Torreón, Coah.	1599	103.45	25.53	5.05	36545.86175
Tuxtla Gtz., Chis.	530	93.07	16.45	15.80	36372.57328
Veracruz, Ver.	1487	96.08	19.12	25.24	36381.00853

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Villahermosa, Tab.	10	92.55	17.59	34.16	36431.93917
--------------------	----	-------	-------	-------	-------------

Tabla VI.1
Ciudades de importancia en la República Mexicana.

Para efectos de ejemplo de cálculo de enlace, en este capítulo se tomarán las ciudades: Mexicali, Tijuana, Pto. Escondido y Acapulco. Ya que Mexicali como Tijuana son las ciudades que tienen una mayor distancia hacia el satélite Solidaridad y por otra parte Acapulco y Pto. Escondido tienen una menor distancia hacia el mismo satélite. Así mismo se considerarán sólo algunas frecuencias, con el fin de hacer un estudio representativo.

El procedimiento a seguir para realizar el enlace móvil satelital para las localidades de interés (Mexicali, Tijuana, Acapulco y Pto. Escondido) es el que se presenta a continuación:

Considerando las latitudes de cada una de las localidades ya mencionadas se procede a realizar el cálculo de la altura de la lluvia el cual es determinado por las siguientes relaciones:

$$h_R \text{ (km)} = 3 + 0.0298 \text{ (LATITUD } ^\circ \text{) SI } 0^\circ < \text{ LATITUD } < 36^\circ$$

$$h_R \text{ (km)} = 4 - 0.075 \text{ (LATITUD } ^\circ \text{) SI } \text{ LATITUD } \geq 36^\circ$$

Obtenida la altura de la lluvia de las localidades, se procede al cálculo de la distancia física " L_s " tomando en cuenta la altura al nivel del mar de cada una de las ciudades de interés proporcionadas de la tabla 1.

$$L_s = (h_r - h_s) / \text{Sen } E^\circ$$

Donde:

E es el ángulo de elevación,

h_s es la altitud de la región.

Para el cálculo del factor de reducción " σ " es necesario tomar en consideración los valores de la precipitación de las ciudades, es decir, la tasa de intensidad de lluvia; las cuales están mostradas en la tabla 1. El cálculo es el siguiente :

$$L_o = 35 e^{-0.15 \alpha} \text{ [km]} \quad \sigma = \frac{1}{1 + (L_s / L_o) \text{COS } E^\circ} \quad L_e = L_s \sigma$$

Donde

L_s es la distancia física de la altura de la lluvia (km);

α la tasa de intensidad de lluvia y

L_o es la distancia equivalente total .

El cálculo del coeficiente de atenuación por lluvia se obtiene de las gráficas 1 - 4 indicadas para las localidades Mexicali, Tijuana, Puerto Escondido (Oaxaca) y Acapulco (Guerrero), y con estos datos se obtiene las pérdidas por lluvia:

$$L_{\text{LLUVIA}} = L_e \gamma_R \text{ [dB]}$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Donde:

γ_R es el valor obtenido de las graficas correspondientes a cada localidad.

Los datos de las pérdidas por lluvia de cada ciudad se encuentran en la tabla VI. 2

Frecuencia (GHz)	Pérdidas por lluvia (dB)			
	Mexicali	Tijuana	Pto. Escondido	Acapulco
50	2.027	6.249	6.925	20.548
40	1.243	4.240	5.386	16.634
30	0.663	2.233	3.539	12.133
20	0.269	1.116	1.769	6.262
16	0.165	0.669	1.154	4.305
12	0.074	0.290	0.584	2.348
8	0.016	0.089	0.200	0.782
4	0	0.0089	0.013	0.046
2	0	0	0	0
1	0	0	0	0

Tabla VI. 2
Pérdidas por lluvia

Mexicali.

Latitud: $32.65^\circ < 36^\circ$

$$h_R \text{ (km)} = 3 + 0.0298 (\text{LATITUD}^\circ) \quad \text{SI } 0^\circ < \text{LATITUD} < 36^\circ$$

$$h_R \text{ (km)} = 3.704 \text{ [km]}$$

Altitud:

$$h_s \text{ (km)} = 0.004 \text{ [km]}$$

$$L_s = (h_r - h_s) / \text{Sen } E^\circ$$

$$L_s = (3.704 - 0.004) / \text{sen } 90^\circ = 3.70 \text{ [km]}$$

Precipitación pluvial R [mm/hr]

$$R = 1 \text{ [mm/hr]}$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

$$L_0 = 35 e^{-0.15 a} \text{ [km]}$$

$$L_0 = 35 e^{-0.15 R} = 34.478$$

$$\sigma_{0.01} = 1 / [1 + (L_s / L_0) \text{COS } E^{\circ}]$$

$$\sigma_{0.01} = 1 / [1 + (3.70 / 34.78)(-1)] = 1 / 0.892 = 1.120$$

$$L_a = L_s \sigma_{0.01}$$

$$L_a = 3.70 \text{ [km]} \cdot 1.120 = 4.144 \text{ [km]}$$

$$L_{\text{LLUVIA}} = L_a \gamma_R \text{ [dB]}$$

Donde:

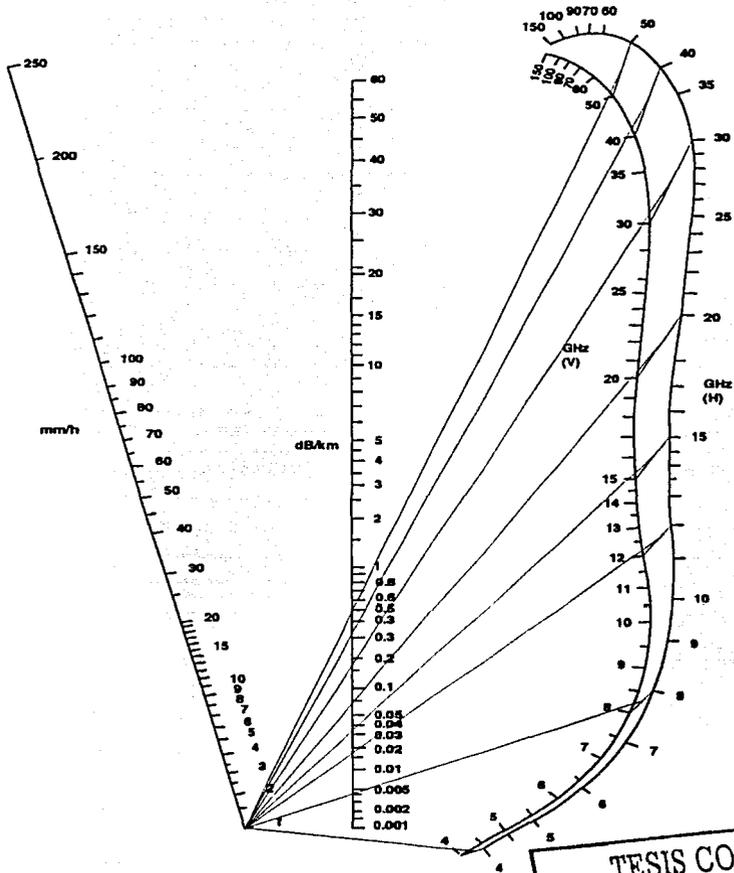
γ_R es el valor obtenido de la gráfica.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Frecuencia (GHz)	Pérdidas por lluvia (dB) Mexicali		
	γ_R	L_a [km]	L_{LLUVIA} [dB]
50	0.4891	4.144	2.027
40	0.3000	4.144	1.243
30	0.1600	4.144	0.883
20	0.0650	4.144	0.269
16	0.0399	4.144	0.165
12	0.0180	4.144	0.074
8	0.0039	4.144	0.016
4	0	4.144	0
2	0	4.144	0
1	0	4.144	0

Tabla VI. 2
Pérdidas por lluvia Mexicali

MEXICALI



Gráfica VI. 1

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Tijuana.

Latitud: $32.32^\circ < 36^\circ$

$$h_R \text{ (km)} = 3 + 0.0298 \text{ (LATITUD } ^\circ \text{) SI } 0^\circ < \text{LATITUD} < 36^\circ$$

$$h_R \text{ (km)} = 3.963 \text{ [km]}$$

Altitud:

$$h_s \text{ (km)} = 0.026 \text{ [km]}$$

$$L_s = (h_r - h_s) / \text{Sen } E^\circ$$

$$L_s = (3.963 - 0.026) / \text{sen } 90^\circ = 3.937 \text{ [km]}$$

Precipitación pluvial R [mm/hr]

$$R = 3.27 \text{ [mm/hr]}$$

$$L_0 = 35 e^{-0.15 R} \text{ [km]}$$

$$L_0 = 35 e^{-0.15 R} = 33.324$$

$$\sigma_{0.01} = 1 / [1 + (L_s / L_0) \text{COS } E^\circ]$$

$$\sigma_{0.01} = 1 / [1 + (3.937 / 33.324)(-1)] = 1 / 0.8826 = 1.133$$

$$L_e = L_s \sigma_{0.01}$$

$$L_e = 3.937 \text{ [km]} * 1.133 = 4.464 \text{ [km]}$$

$$L_{\text{LLUVIA}} = L_e \gamma_R \text{ [dB]}$$

Donde:

γ_R es el valor obtenido de la gráfica.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Frecuencia	Pérdidas por lluvia (dB) Tijuana		
(GHz)	γ_R	L_o [km]	L_{LLUVIA} [dB]
50	1.400	4.464	6.249
40	0.950	4.464	4.240
30	0.500	4.464	2.233
20	0.250	4.464	1.116
16	1.500	4.464	0.669
12	0.065	4.464	0.290
8	0.020	4.464	0.089
4	0.002	4.464	0.0089
2	0	4.464	0
1	0	4.464	0

Tabla VI, 3
Pérdidas por lluvia Tijuana

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Puerto Escondido.

Latitud: $15.50^\circ < 36^\circ$

$$h_R \text{ (km)} = 3 + 0.0298 \text{ (LATITUD } ^\circ \text{)} \quad \text{SI } 0^\circ < \text{LATITUD} < 36^\circ$$

$$h_R \text{ (km)} = 3.461 \text{ [km]}$$

Altitud:

$$h_s \text{ (km)} = 2 \text{ [km]}$$

$$L_s = (h_r - h_s) / \text{Sen } E^\circ$$

$$L_s = (3.461 - 2) / \text{sen } 90^\circ = 1.461 \text{ [km]}$$

Precipitación pluvial R [mm/hr]

$$R = 13.13 \text{ [mm/hr]}$$

$$L_o = 35 e^{-0.15 R} \text{ [km]}$$

$$L_o = 35 e^{-0.15 R} = 28.743$$

$$\sigma_{0.01} = 1 / [1 + (L_s / L_o) \text{COS } E^\circ]$$

$$\sigma_{0.01} = 1 / [1 + (1.461 / 28.743)(-1)] = 1.053$$

$$L_e = L_s \sigma_{0.01}$$

$$L_e = 1.461 \text{ [km]} * 1.053 = 1.539 \text{ [km]}$$

$$L_{\text{LLUVIA}} = L_e \gamma_R \text{ [dB]}$$

Donde:

γ_R es el valor obtenido de la gráfica.

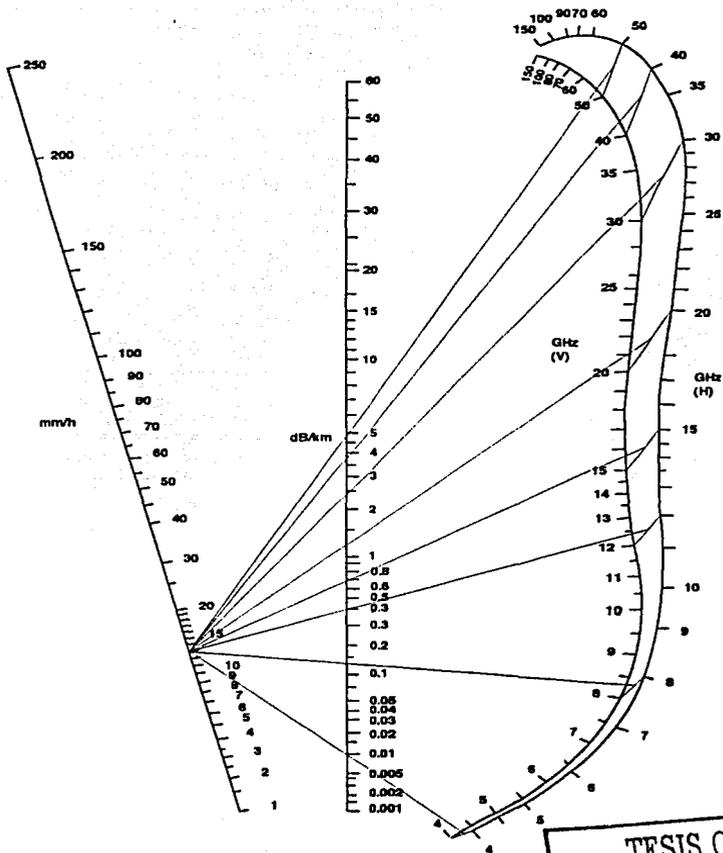
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Frecuencia	Pérdidas por lluvia (dB) Puerto Escondido		
(GHz)	γ_R	L_o [km]	L_{LLUVIA} [dB]
50	4.5	1.539	6.925
40	3.5	1.539	5.386
30	2.3	1.539	3.539
20	1.15	1.539	1.769
16	0.75	1.539	1.154
12	0.38	1.539	0.584
8	0.13	1.539	0.200
4	0.008	1.539	0.013
2	0	1.539	0
1	0	1.539	0

Tabla VI. 4
Pérdidas por lluvia Puerto Escondido

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

PUERTO ESCONDIDO



Gráfica VI. 3

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Acapulco.

Latitud: $16.51^\circ < 36^\circ$

$$h_R \text{ (km)} = 3 + 0.0298 \text{ (LATITUD } ^\circ \text{)} \quad \text{SI } 0^\circ < \text{LATITUD} < 36^\circ$$

$$h_R \text{ (km)} = 3.491 \text{ [km]}$$

Altitud:

$$h_s \text{ (km)} = 1.699 \text{ [km]}$$

$$L_s = (h_r - h_s) / \text{Sen } E^\circ$$

$$L_s = (3.491 - 1.699) / \text{sen } 90^\circ = 1.792 \text{ [km]}$$

Precipitación pluvial R [mm/hr]

$$R = 33.33 \text{ [mm/hr]}$$

$$L_o = 35 e^{-0.15 R} \text{ [km]}$$

$$L_o = 35 e^{-0.15 R} = 21.22$$

$$\sigma_{0.01} = 1 / [1 + (L_s / L_o) \text{COS } E^\circ]$$

$$\sigma_{0.01} = 1 / [1 + (1.792 / 21.22)(-1)] = 1.092$$

$$L_o = L_s \sigma_{0.01}$$

$$L_o = 1.792 \text{ [km]} * 1.092 = 1.957 \text{ [km]}$$

$$L_{\text{LLUVIA}} = L_o \gamma_R \text{ [dB]}$$

Donde:

γ_R es el valor obtenido de la gráfica.

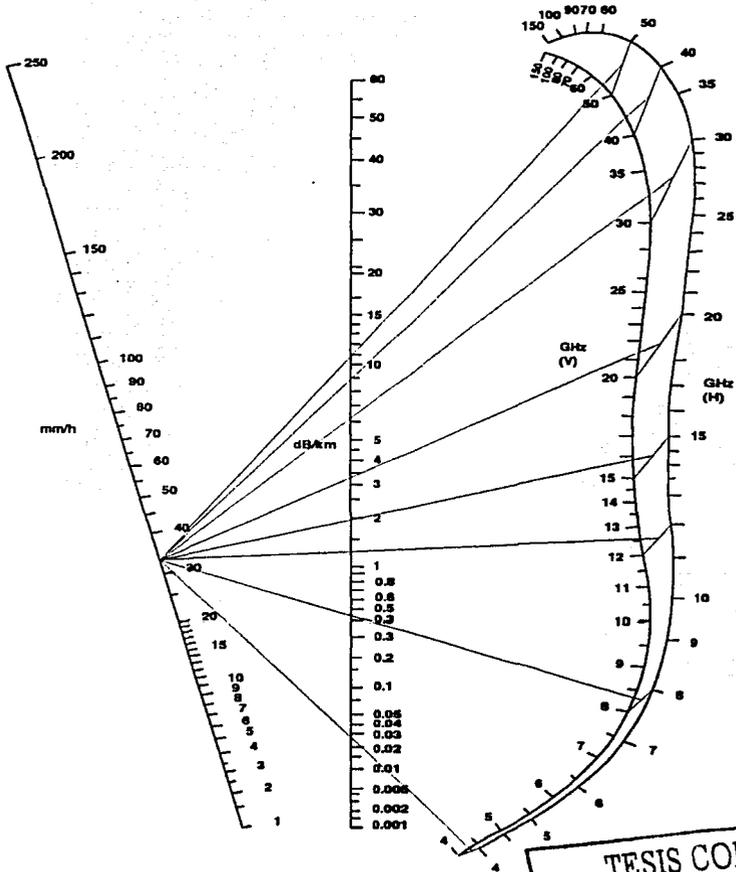
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Frecuencia (GHz)	Pérdidas por lluvia (dB) Acapulco		
	γ_R	$L_0 = 3.70$ [km]	L_{LLUVIA} [dB]
50	10.50	1.957	20.548
40	8.50	1.957	16.634
30	6.20	1.957	12.133
20	3.20	1.957	6.262
16	2.20	1.957	4.305
12	1.20	1.957	2.348
8	0.40	1.957	0.782
4	0.025	1.957	0.046
2	0	1.957	0
1	0	1.957	0

Tabla VI. 5
Pérdidas por lluvia Acapulco

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ACAPULCO



Gráfica VI. 4

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

El cálculo de las pérdidas atmosféricas se toman los valores de las gráficas de: pérdidas por absorción (gráfica VI.5) ,vapor de agua (gráfica VI.6), sistema molecular (gráfica VI.7) y condiciones metereológicas (gráfica VI.8); tomando en cuenta las frecuencias establecidas de 50 GHz, 40 GHz, 30 GHz, 20 GHz, 16 GHz, 12 GHz, 8 GHz, 4GHz, 2 GHz y 1Ghz . Los valores se encuentran en la tabla VI. 6.

Frecuencia (GHz)	Pérdidas atmosféricas (dB)				Total de pérdidas Atmosféricas (dB)
	Absorción	Vapor de agua	sistema molecular	condiciones metereológicas	
50	2.800	0.13	1.90	20.00	24.830
40	0.775	0.12	0.41	14.00	15.305
30	0.400	0.18	0.15	8.00	8.730
20	0.400	0.26	0	3.70	4.360
16	0	0	0	2.25	2.250
12	0	0	0	1.50	1.500
8	0	0	0	0.48	0.480
4	0	0	0	0.12	0.120
2	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0

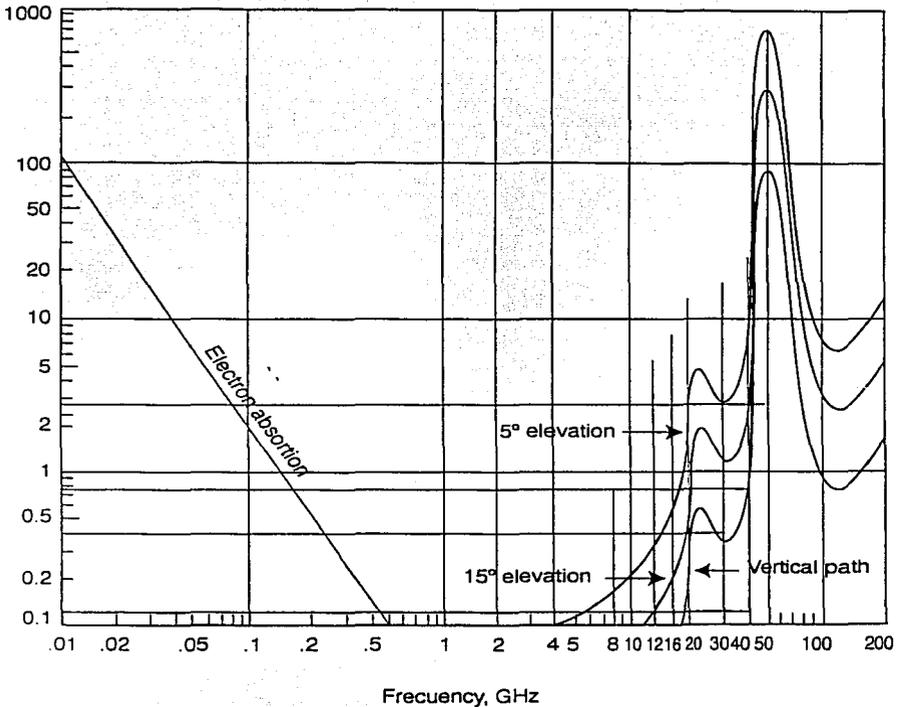
Tabla VI. 6
Pérdidas atmosféricas

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Grafica vi.5

Composite absorption due oxygen water vapor, and electrons for temperate zone ground station

Absorption loss, decibels

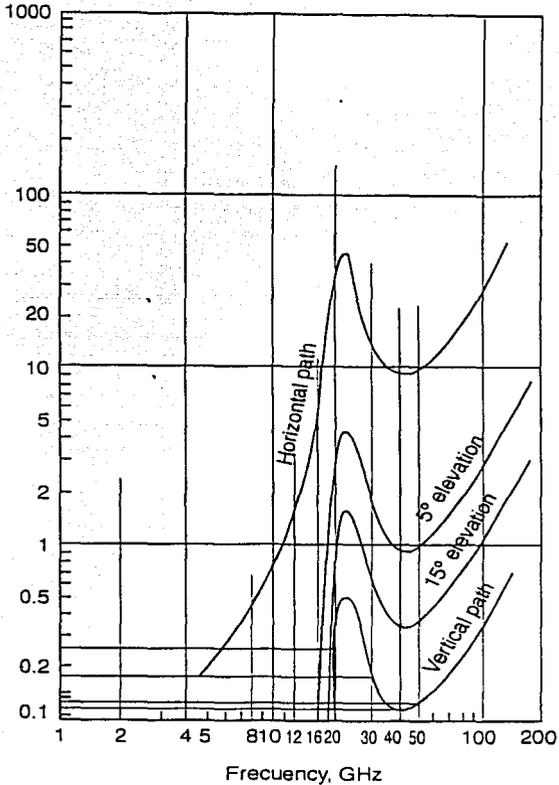


Absorption in the atmosphere caused by electrons, molecular oxygen, and uncondensed water vapor

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Absorption due to water vapor (sea level)

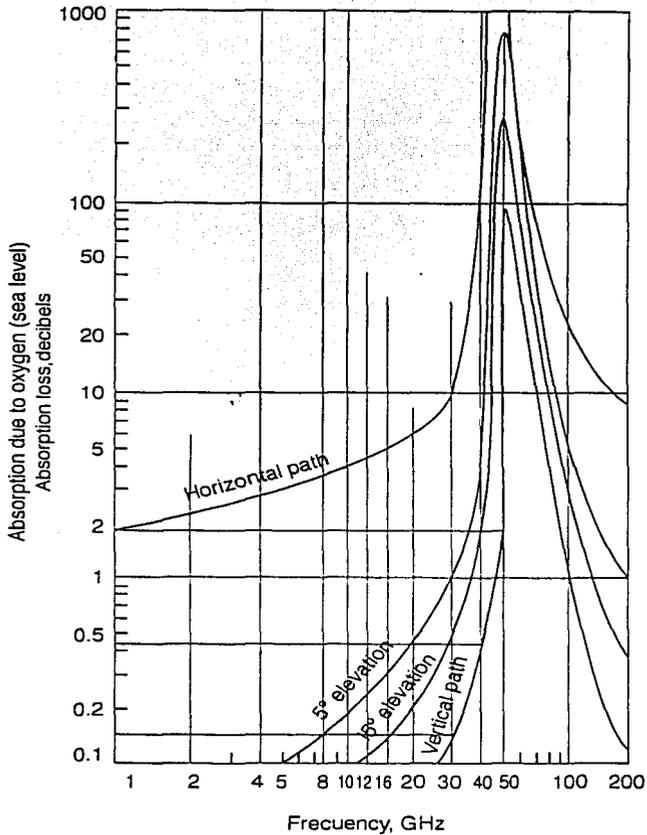
Absorption loss decibels



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Absorption in the atmosphere caused by uncondensed water vapor

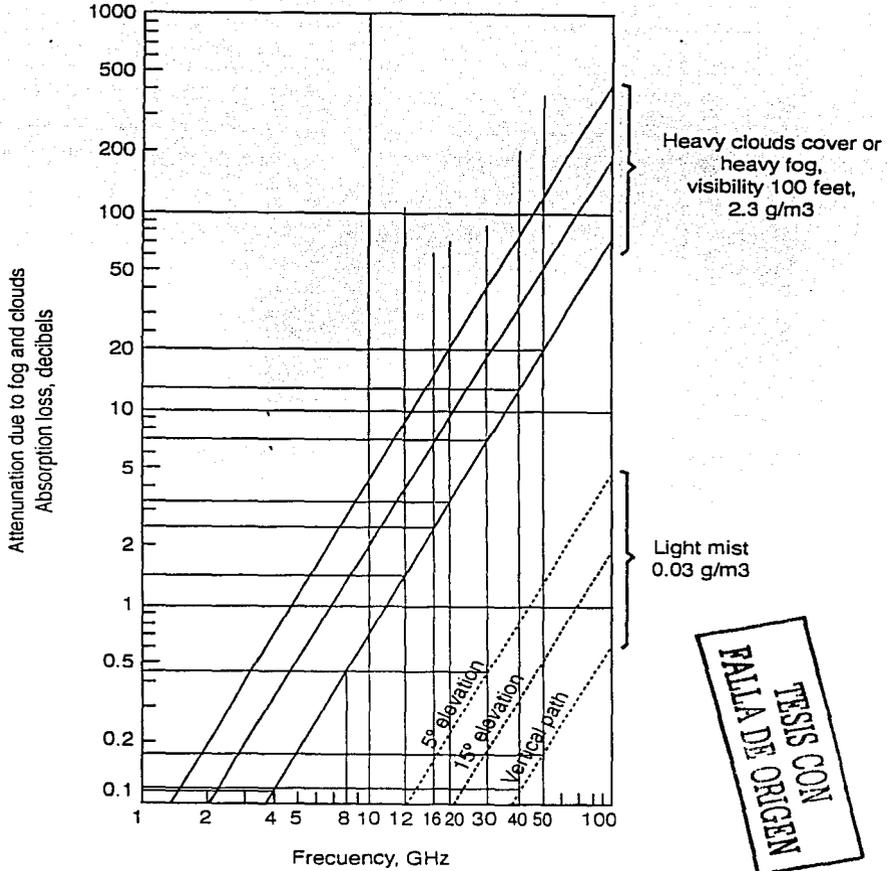
Grafica vi.7



Absorption in the atmosphere caused by molecular system

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Grafiva vi.8



Typical absorption due to fog, mist and clouds

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La suma de las pérdidas atmosféricas y las pérdidas por lluvia dadas en dB se indican para cada ciudad; tomadas a cada una de las frecuencias establecidas para las condiciones de enlace, las cuales se muestran en la tabla VI. 7.

Frecuencia (GHz)	Pérdidas atmosféricas + pérdidas por lluvia (dB)			
	Mexicali	Tijuana	Pto. Escondido	Acapulco
50	26.857	31.0790	31.755	45.378
40	16.548	19.5450	20.691	31.939
30	9.393	10.9630	12.269	20.863
20	4.629	5.4760	6.129	10.622
16	2.415	2.9190	3.404	6.555
12	1.574	1.7900	2.084	3.848
8	0.496	0.5690	0.680	1.262
4	0.120	0.1289	0.133	0.166
2	0	0	0	0
1	0	0	0	0

Tabla VI. 7
Pérdidas totales para cada localidad

Las pérdidas de espacio libre, dependen de la distancia entre la terminal y el satélite. La longitud de onda se calcula con las frecuencias establecidas anteriormente por lo que se obtiene de la siguiente manera.

$$L_p = (4\pi D / \lambda)^2$$

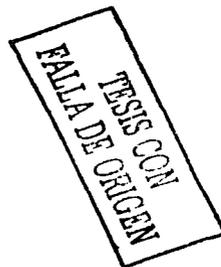
Donde:

$$\lambda = c / F \text{ y}$$

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

D es la distancia de las localidades hacia el satélite solidaridad

Estos cálculos son mostrados en la tabla VI. 8.



Frecuencia (GHz)	Pérdidas por espacio libre hacia satélite Solidaridad (dB)			
	Mexicali	Tijuana	Pto. Escondido	Acapulco
50	217.783064	217.782622	217.5995763	217.5942628
40	215.844864	215.844421	215.661376	215.6560625
30	213.346089	213.345647	213.1626013	213.1572878
20	209.824264	209.823821	209.6407761	209.6354626
16	207.886063	207.885621	207.7025759	207.6972623
12	205.387289	205.386846	205.2038011	205.1984876
8	201.865463	201.865021	201.6819759	201.6766624
4	195.844864	195.844421	195.661376	195.6560625
2	189.824264	189.823821	189.6407761	189.6354626
1	183.803664	183.803222	183.6201762	183.6148627

Tabla VI. 8
Pérdidas por espacio libre hacia el satélite Solidaridad (dB)

El total de pérdidas del enlace ascendente del satélite solidaridad se encuentran en la tabla VI. 9. Esta tabla contiene la suma de las pérdidas de espacio libre, las pérdidas atmosféricas y pérdidas por lluvia.

Frecuencia (GHz)	Total de pérdidas de enlace ascendente al Solidaridad (dB)			
	Mexicali	Tijuana	Pto. Escondido	Acapulco
50	244.640064	248.861622	249.3545763	262.9722628
40	232.392864	235.389421	236.352376	247.5950625
30	222.739089	224.308647	225.4316013	234.0202878
20	214.453264	215.299821	215.7697761	220.2574626
16	210.301063	210.804621	211.1065759	214.2522623
12	206.961289	207.176846	207.2878011	209.0464876
8	202.361463	202.434021	202.3619759	202.9386624
4	195.964864	195.973321	195.794376	195.8220625
2	189.824264	189.823821	189.6407761	189.6354626
1	183.803664	183.803222	183.6201762	183.6148627

Tabla VI. 9
Total de pérdidas de enlace ascendente al satélite Solidaridad.



En las tablas VI.10, VI. 11, VI. 12 y VI. 13 se muestran los resultados para cada localidad.

Frecuencia	Total de pérdidas (dB) Mexicali
(GHz)	Solidaridad
1	183.8036637
2	189.8242636
4	195.9648635
8	202.3614635
12	206.9612886
16	210.3010634
20	214.4532636
30	222.7390888
40	232.3928635
50	244.6400638

Tabla VI. 10
Pérdidas Totales Mexicali

Frecuencia	Total de pérdidas (dB) Tijuana
(GHz)	Solidaridad
1	183.8032215
2	189.8238215
4	195.9733214
8	202.4340213
12	207.1768465
16	210.8046212
20	215.2998215
30	224.3086466
40	235.3894214
50	248.8616216

Tabla VI. 12
Pérdidas Totales Tijuana

Frecuencia	Total de pérdidas (dB) Pto. Escondido
(GHz)	Solidaridad
1	183.6201762
2	189.6407761
4	195.794376
8	202.3619759
12	207.2878011
16	211.1065759
20	215.7697761
30	225.4318013
40	236.352376
50	249.3545763

Tabla VI. 11
Pérdidas Totales Puerto Escondido

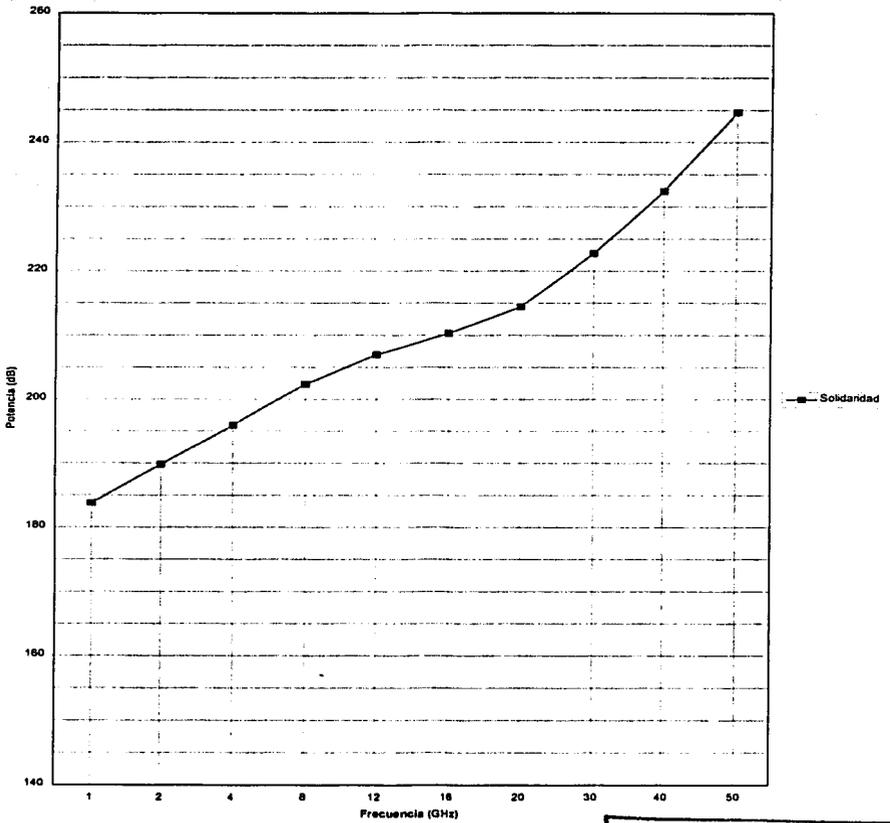
Frecuencia	Total de pérdidas (dB) Acapulco
(GHz)	Solidaridad
1	183.6148627
2	189.6354626
4	195.8220625
8	202.9386624
12	209.0464876
16	214.2522623
20	220.2574626
30	234.0202878
40	247.5950625
50	262.9722628

Tabla VI. 13
Pérdidas Totales Acapulco

Los resultados de las tablas VI. 10 a la VI. 13 se muestran en las gráficas VI. 9 a la VI. 12 respectivamente.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

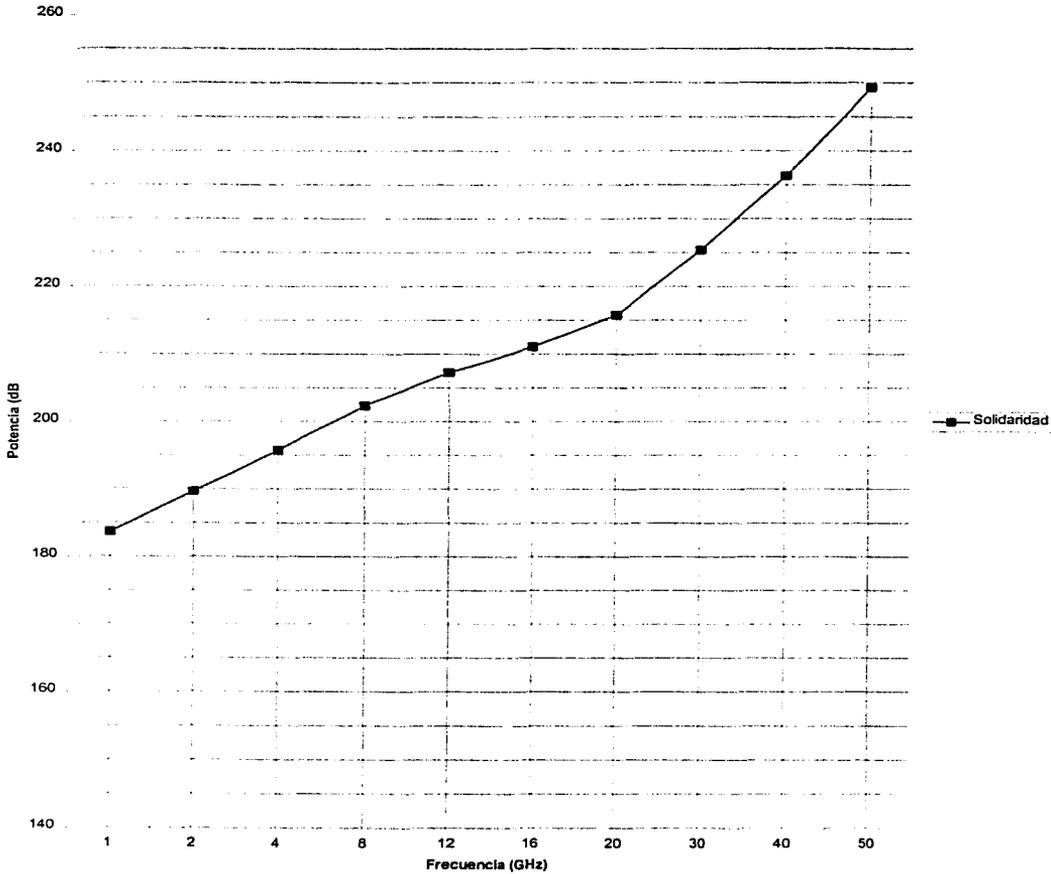
Mexicali



Gráfica VI. 9

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

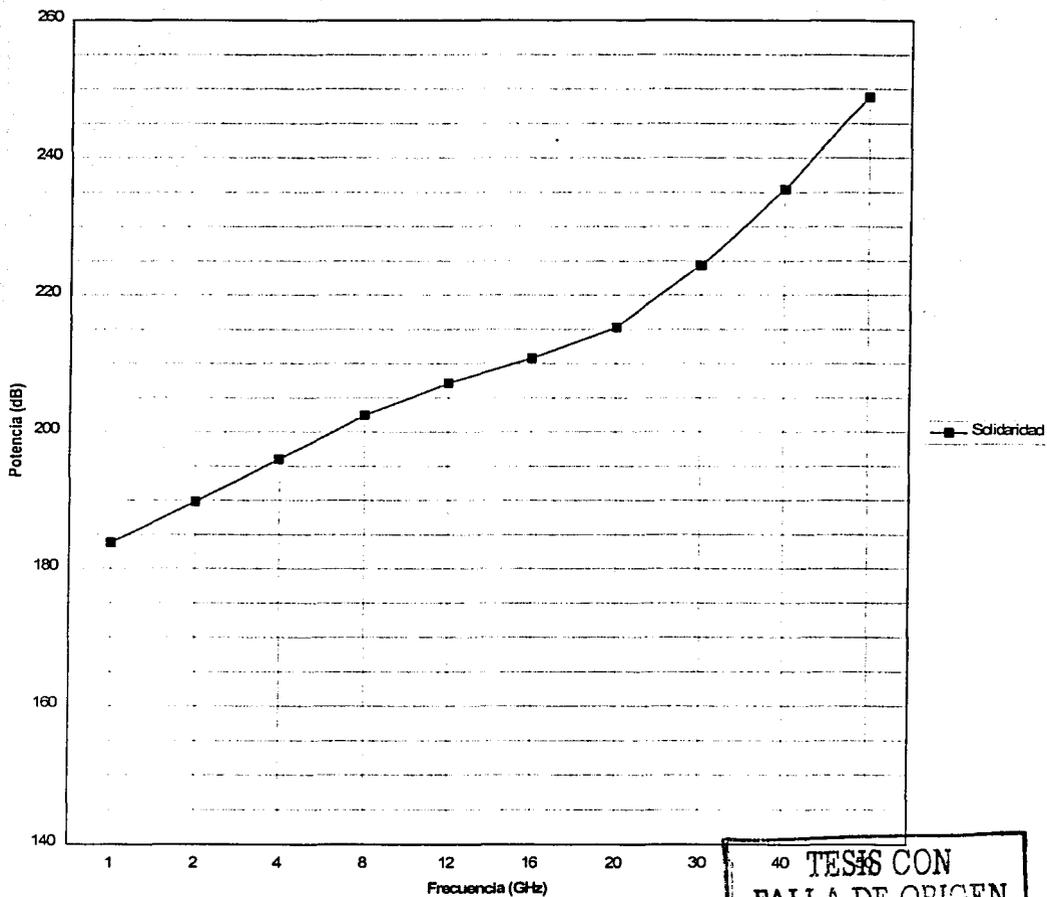
Pto. Escondido



Gráfica VI. 10

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

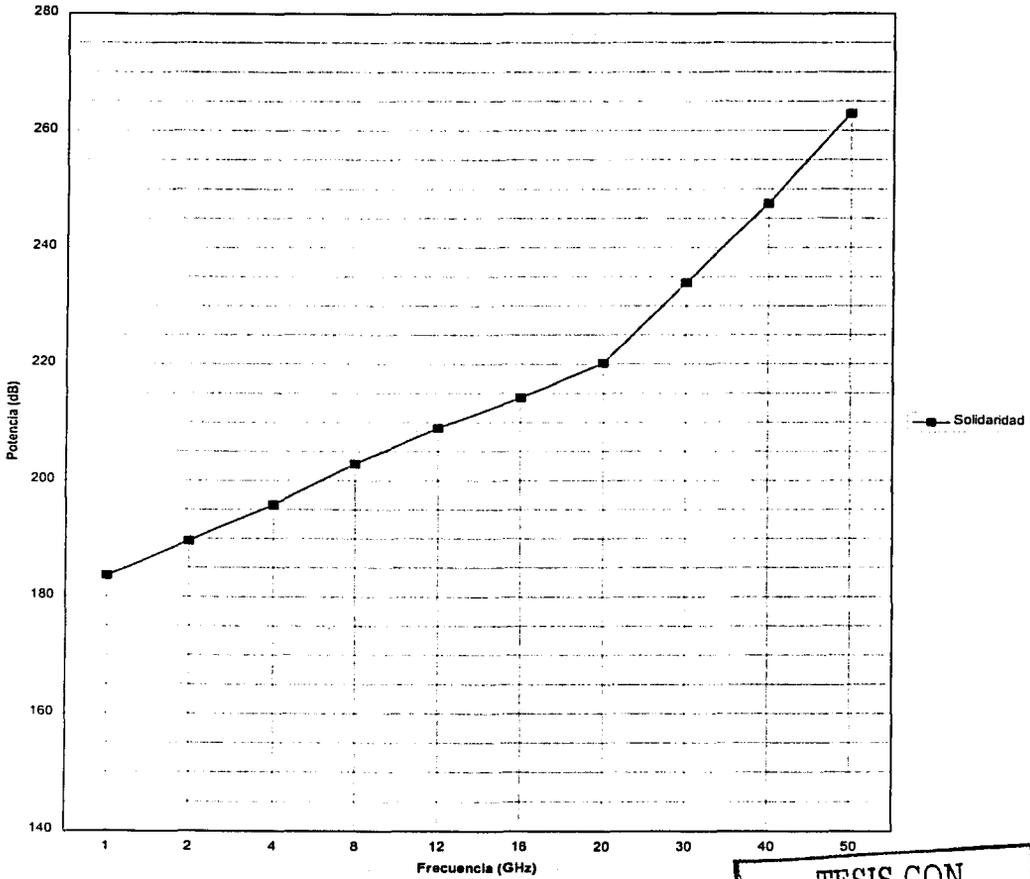
Tijuana



Gráfica VI. 11

40 TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

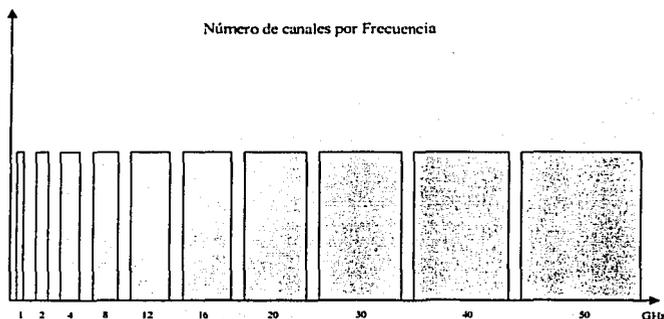
Acapulco



Gráfica VI. 12

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Como podemos observar, las pérdidas aumentan mientras aumenta la frecuencia. Esto es un motivo por el cual se trata de usar comunicaciones móviles en frecuencias relativamente bajas. Pero en la actualidad vivimos un gran problema: La amplia gama de comunicaciones ha ido creciendo y el espectro radioeléctrico se ha ido saturando, de tal forma que ahora se ha tenido que emigrar o tratar de emigrar las comunicaciones móviles hacia frecuencias más altas. Esto tiene algunos beneficios y algunos problemas. Quizá el beneficio más visto es el que a mayor frecuencia mayor ancho de banda, lo que permite canales de comunicación con mayor ancho de banda obviamente y se traduce en mayor capacidad para transmitir información, como se observa en la gráfica VI. 13.



Gráfica VI. 13
Canales de frecuencia x ancho de banda

Donde el número de canales crece de acuerdo al crecimiento de la frecuencia.

Para efectos de ejemplificar la magnitud del ancho de banda tomaremos como referencia canales de voz, los cuales tienen un ancho de banda de 6 kHz para comunicaciones móviles. Así mismo tomando en consideración las frecuencias: 1, 2, 4, 8, 12, 16, 20, 30, 40 y 50 GHz, se tomará un 1% de límite en ambos extremos de cada frecuencia para determinar el ancho de banda. Esto se encuentra determinado en la tabla VI. 14.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Frecuencia GHz	Extremo inferior 1%	Extremo superior 1%	Ancho de banda GHz	Número de canales
1	0.99	1.01	0.02	3,333
2	1.98	2.02	0.04	6,667
4	3.96	4.04	0.08	13,333
8	7.92	8.08	0.16	26,667
12	11.88	12.12	0.24	40,000
16	15.84	16.16	0.32	53,333
20	19.8	20.2	0.4	66,667
30	29.7	30.3	0.6	100,000
40	39.6	40.4	0.8	133,333
50	49.5	50.5	1	166,667

Tabla VI. 14
 Canales disponibles por ancho de banda
 Canales de voz (6kHz)

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

CAPITULO 7. CONCLUSIONES.

La gran apertura que integran las comunicaciones a través de la tecnología y su avance, desde la comunicación más sencilla hasta la más complicada, se ven involucrados los medios guiados y los no guiados, los cuales tienen opciones que satisfacen nuestras necesidades y expectativas de cada sector de las telecomunicaciones.

Conforme avanzamos hacia el siglo XXI, las comunicaciones móviles han alcanzado mayor trascendencia en los más diversos ámbitos de la vida, debido a la creciente necesidad que se tiene de ellas, esto es, cada vez influyen más en la economía por su utilización en gestión. El crecimiento de las telecomunicaciones ha provocado el uso de la comunicación móvil satelital en la que su panorama es muy optimista, refiriéndonos al servicio que permite a usuarios haciendo a éste más competitivo, con el uso de tecnología de vanguardia. De tal forma la comunicación móvil satelital proporciona servicio en áreas de gran extensión, incluyendo lugares de difícil acceso para comunicación celular y/o fija.

Desde este punto de vista, existen sistemas satelitales que pueden proporcionar comunicaciones móviles vía satélite. Los sistemas se diferencian básicamente en la constelación adoptada además de los aspectos específicos de diseño y servicios que ofrecen, incluyendo la cobertura, tipos de acceso, terminales, las perspectivas de cada uno, entre otras características que hacen un sistema diferente de otro, pero con el mismo objetivo, que es el mercado comercial a gran escala. Por otra parte la altitud orbital, condiciona el número de satélites necesarios para la cobertura global terrestre, siendo la órbita geostacionaria la de mayor ventaja por sus características.

Si bien la dinámica evolución de las tecnologías de la comunicación propician en general un entorno cambiante e interactivo, particularmente el servicio de telefonía móvil satelital no comparte con el servicio de los operadores de telefonía, si no que es un sistema que complementa al servicio de telefonía existente.

En cambio, desde el punto de vista de las comunicaciones móviles, la necesidad de los satélites irá en aumento, manteniendo su competitividad y desempeñando un papel de primer orden, completando así las comunicaciones móviles terrestres en donde en la actualidad la elevada demanda los hace más económicos.

Se hace mención que los diferentes sistemas de comunicación móvil vía satélite operan en distintos rangos de frecuencias, lo cual provoca saturación del espectro radioeléctrico debido a la tecnología actual.

De las gráficas VI.9 a VI.12 se muestra que el mejor espectro de frecuencias para comunicaciones móviles satelitales es por debajo de 2 GHz (banda L) debido a que en estas frecuencias existen menores pérdidas que a frecuencias mayores, pero con la desventaja de un menor ancho de banda. Es por eso que para comunicaciones móviles satelitales, la banda L sea la más solicitada, pues se requiere de terminales de menor potencia. Cabe señalar que la UIT asigna un ancho de banda de 33 MHz (1525-1544, 1545-1559) para servicios de comunicación móvil satelital.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Una solución a esta saturación de la banda L, podría ser la migración hacia altas frecuencias (mayores a banda L) de los servicios comerciales de comunicaciones móviles satelitales, ya que por las necesidades del mercado requiere de un mayor ancho de banda para las transmisiones. Esta solución se encuentra con limitantes de tecnología, pues para tecnología disponible no hay espectro y para espectro disponible no hay tecnología, esto es, para frecuencias mayores se requiere de terminales que transmitan a mayor potencia pues las pérdidas a estas frecuencias son mayores, como verificamos de las gráficas VI.9 a VI.12. Por lo anterior se recomienda que se utilice la banda L como espectro asignado a comunicaciones móviles satelitales para servicios prioritarios como son:

- Seguridad nacional
- Desastres naturales
- Cuidado del mar patrimonial
- Combate al contrabando
- Reportes de incendio
- Combate a la delincuencia organizada
- Prestación de servicio de comunicación de voz a las poblaciones más alejadas de los centros de desarrollo, etc

Las comunicaciones móviles satelitales, se encuentran en la situación que se muestra a continuación en cuanto a frecuencias y tecnologías:

	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Frecuencias cercanas a banda L	- Existencia de tecnología de - Baja potencia de transmisión	- Saturación del espectro - Bajo ancho de banda
Frecuencias altas (20-30 GHz)	- Gran ancho de banda - Disponibilidad del espectro radioléctrico (en materia de regulación)	- Existencia de poca o nula tecnología - Grandes pérdidas por enlace

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

CAPITULO 8. BIBLIOGRAFÍA:

"Sistemas de Telecomunicaciones vía satélite"
Libro de James Wood.
Ed. Paraninfo 1994

"Digital Satellite communications"
Trit Ha
Ed. Mc Graw Hill Internacional
Second Edition
Singappore 1990

"Manual de Telecomunicaciones por satélite"
Servicio fijo por satélites
Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones
Editado por la UIT
Ginebra Suiza 1988

"Comunicaciones Móviles por Satélite"
El Mundo electrónico No 260
Inmaculada Sánchez Ramos 1994

"Sistemas de Comunicaciones Satelitales"
Ing. Vladislav V. Kravchenko
Ed. IPN
1998.

Fuentes de información:

<http://www.globalstar.com>
<http://www.lorl.com>
http://helios.etsit.upv.es/asiq/5%ba/tel_espa/telec_movilh.tml
<http://www.iridium.com>
<http://teledesic.com>
<http://www.hoovers.com/ICF/16809icf.thml>
<http://www.worldserver.pipex.com/inmarsat.html>
<http://www.i-co.co.uk>
<http://www.telcel.com>
<http://www.pegasopcs.com.mx>
Movisat, dependencia de TELECOMM.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN