

37
207



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

ANALISIS Y PERSPECTIVAS DE LOS
SISTEMAS DE COMUNICACIONES MOVI-
LES POR SATELITE EN MEXICO

T E S I S

Que para obtener el Título de
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
(Area Electrónica - Comunicaciones)

P r e s e n t a n
JUAN BRITO ALDAY
JOSE LUIS CUERVO AMILPAS
ROBERTO FERNANDEZ DOMINGUEZ

Director: Ing. Carlos Girón García



México, D. F.

1994

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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 está 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.

A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Nuestra ALMA MATER, la máxima casa de estudios la cual nos abrió las puertas de sus recintos y nos honro con el título que hoy orgullosamente ostentamos como UNIVERSITARIOS.

A LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Nuestra querida Facultad de la cual orgullosamente nos consideramos sus hijos, donde nos formamos y de donde surgimos como PROFESIONISTAS.

A el ING. CARLOS GIRON GARCIA:

Por el todo apoyo brindado para la realización de esta tesis y por todos los momentos que tuvo para nosotros, muchas gracias.

**ANALISIS Y PERSPECTIVAS DE LOS
SISTEMAS DE COMUNICACIONES MOVILES
POR SATELITE EN MEXICO.**

INDICE

INTRODUCCION

Capítulo I

Atribución de los servicios de comunicaciones móviles.

Capítulo II

Descripción de los sistemas de satélites para comunicaciones móviles.

II.1.- Sistemas nacionales, SOLIDARIDAD

II.1.1.- Descripción general del sistema

II.1.2.- Características técnicas

II.2.- Sistemas regionales, AMSC, MSAT Y MARATHON.

II.2.1.- Descripción general del sistema

II.2.2.- Características técnicas

II.3.- Sistemas globales, INMARSAT

II.3.1.- Descripción general del sistema

II.3.2.- Características técnicas

Capítulo III

Análisis de los criterios de compartición entre sistemas.

III.1.- Parámetros técnicos y criterios de compartición

III.2.- Desarrollo de modelos de compartición del espectro radioeléctrico

III.3.- Programa auxiliar de cálculo de enlaces

Capítulo IV

Aplicaciones de los sistemas de comunicaciones móviles.

IV.1.- Características de operación.

IV.2.- Ventajas y desventajas.

IV.3.- Aplicación y normatividad.

Capítulo V

Necesidades de demanda y mercado de los sistemas de satélites.

V.1.- Mercado de los servicios móviles por satélite.

V.2.- Diferencia entre países industrializados y países en vías de desarrollo

V.3.- Tecnología de los sistemas móviles por satélite en México.

Conclusiones

Apéndice A

Apéndice B

Apéndice C

Apéndice D

Bibliografía

INTRODUCCION.

El presente documento pretende dar una visión general del funcionamiento de los sistemas móviles por satélite. La nueva generación de satélites nos ofrece una gran variedad de servicios, tales como: DAB¹, FPLMTS², SMS³, CPA⁴, etc., sin embargo, nos concretaremos a los servicios que operan dentro de la banda "L" (1-3 GHz) en la nueva generación de los sistemas de satélites mexicanos "Solidaridad".

En la investigación se describirán los distintos servicios que se ofrecen dentro de los servicios de comunicaciones móviles por satélite, como: los terrestres, los marítimos y los aeronáuticos; así como el espectro en que opera cada uno de estos servicios.

Actualmente, esta banda ha sufrido una serie de cambios en su estructura, por lo que se han realizado acuerdos a nivel internacional a través de las diferentes conferencias administrativas mundiales de radiocomunicación y los trabajos multilaterales entre los distintos sistemas participantes. Dentro de este esquema, se mostrarán las características técnicas de cada una de las partes involucradas para el uso y compartición del espectro radioeléctrico. Los países que se encuentran en este proceso son: México, La Federación Rusa⁵, Estados Unidos de América, Canadá y los países que conforman el consorcio INMARSAT.

Se analizan, además, los diferentes criterios de compartición que se establecieron, y la manera de aplicarlos dentro de la banda "L", dando ejemplos de los modelos de compartición. Asimismo, se describirá un programa de computadora para auxiliar en el cálculo de enlaces para los sistemas móviles por satélite.

Uno de los puntos más importantes del trabajo es el análisis de la situación en nuestro país, debido a que desarrollamos una investigación sobre las aplicaciones de los SMS dentro del territorio nacional. Se trató de abarcar los servicios más importantes, como son las comunicaciones terrestres, marítimas y aeronáuticas, incluyéndose algunas citas para los sistemas de comunicaciones rurales. Tratamos de reunir información de las necesidades, la demanda y el mercado que existe de estos servicios dentro de nuestro país.

¹ Radiodifusión Sonora Digital.

² Sistemas Públicos Futuros de Telecomunicaciones Móviles Terrestres.

³ Servicio Móvil por Satélite.

⁴ Correspondencia Pública Aeronáutica.

⁵ Actualmente La Comunidad de Estados Independientes.

También, se proporcionan algunas normas que rigen a los sistemas SMS para cada tipo de comunicaciones, ya sean marítimas, terrestres o aeronáuticas. Estas normas todavía no están estandarizadas, debido a la situación en la que se encuentran los sistemas satelitales, hasta el momento de realizar este trabajo.

CAPITULO I

ATRIBUCION DE LOS SERVICIOS DE COMUNICACIONES MOVILES.

La Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones (CAMR-92) fue la primera conferencia que tomó en cuenta las comunicaciones comerciales, en los satélites de órbita baja (LEO -Low Earth Orbit) y los de órbita elíptica alta (HEO - Highly Elliptical Orbit). Estos servicios se encuentran dentro del rango que va desde unos cientos de kilómetros hasta miles de ellos, sobre la superficie de la tierra. Los servicios de comunicaciones anteriores eran ofrecidos solamente por los satélites geoestacionarios (GSO), que se encuentran dentro del cinturón de Clark (35,900 Kilómetros sobre la superficie de la tierra).

De todas las bandas de frecuencia que se revisaron en la CAMR-92, la que causó mayor controversia fue la banda comprendida entre 1-3 GHz (Banda L), debido a que en este rango se pretenden instalar los servicios FPLMTS; las comunicaciones móviles terrestres y por satélite; la radiodifusión sonora digital -aunque actualmente estas frecuencias están asignadas para los servicios de comunicaciones terrestres fijas y los servicios móviles -; además de otros servicios.

A continuación, se indican las frecuencias y los servicios que se encuentran atribuidos a la Región 2 (en donde se encuentra ubicado nuestro país), dentro de la Banda L (1 a 3 GHz) y referidos a las comunicaciones.

- Para el servicio móvil y los futuros sistemas de telecomunicaciones móviles terrestres (FPLMTS), se atribuyeron, a nivel mundial, las bandas de 1885-2025 MHz y 2110-2200 MHz. En las porciones de 2010-2025 MHz y 2185-2200 MHz ya se podrán utilizar técnicas espaciales y/o terrenales.

Se adoptaron dos resoluciones en las que se invita al CCIR¹ : a) a estudiar, con carácter de urgente, las medidas para proteger de la interferencia perjudicial causada por emisiones de estaciones del servicio móvil, a los servicios espaciales que funcionan en las bandas de 2025-2100 MHz y 2200-2290 MHz; b) a que continúe los estudios sobre los criterios de compartición del servicio fijo con otros servicios.

¹ Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones (Este órgano actualmente es la Oficina de Radiocomunicaciones).

- Para el Servicio de Correspondencia Pública Aeronáutica Terrenal (CPA), se atribuyeron las bandas 1670-1675 MHz y 1800-1805 MHz para su utilización, a nivel mundial, por las administraciones que deseen introducir este servicio.

- Para los servicios móviles por satélites genéricos, en las regiones 2 y 3 para el servicio móvil por satélite, se atribuyeron las bandas de 1525-1530 MHz (espacio - tierra), y 1626.5-1631.5 MHz (tierra - espacio), que corresponden a la banda ampliada.

En las regiones 2 y 3, también las bandas de 1530-1544 MHz y 1626.6-1645.5 MHz están atribuidas a los SMS, a título primario, a condición de que las comunicaciones de socorro y de seguridad del servicio móvil marítimo por satélite gocen de acceso prioritario y de disponibilidad inmediata, en relación a todas las demás comunicaciones del SMS.

Las bandas 1545-1555 MHz (espacio - tierra) y 1646.5-1656.5 MHz (tierra - espacio) continúan con una atribución exclusiva al servicio móvil aeronáutico por satélite.

- Para radiodifusión (sonora digital) terrenal y por satélite, a partir del año 2007, se atribuyó a nivel primario mundial la banda de 1452-1492 MHz al servicio de radiodifusión y radiodifusión por satélite (sonora).

La banda de 2310-2360 MHz se atribuyó, en forma adicional, a los Estados Unidos de América y a la India, a título primario, para el servicio de radiodifusión por satélite (sonora) y el servicio de radiodifusión sonora terrenal complementaria.

La banda de 2500-2690 MHz, atribuida al servicio de radiodifusión por satélite, se redujo a la banda de 2520-2570 MHz, con atribución primaria mundial, limitada a sistemas nacionales y regionales para la recepción comunal.

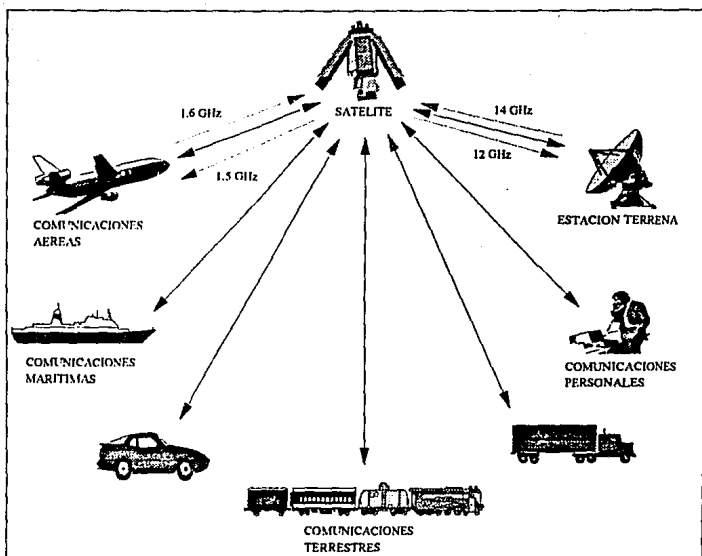


Figura I.1.- Enlace estación terrena-satélite en la banda "Ku" y satélite-móvil en la banda "L".

En la Figura I.1 se muestran los servicios que se manejan dentro de las comunicaciones móviles por satélite. El servicio móvil es aquel cuya principal característica es que sus equipos no permanecen fijos, sino que se mueven y cambian de lugar constantemente, por ejemplo, barcos, aviones, automóviles, etc. Las redes de comunicación que satisfacen esta demanda pertenecen al servicio móvil por satélite.

Los primeros servicios móviles por satélite se ofrecieron a barcos en los años setentas. Desde entonces, este tipo de servicio ha crecido y, hasta hace poco tiempo, era patrimonio exclusivo de la comunidad marítima. Actualmente, la única alternativa que tiene esta comunidad para comunicarse, es por ondas decamétricas, lo cual presenta problemas tales como: mala propagación de las ondas, interferencia, congestión de canales, etc; existiendo zonas en las cuales no es posible establecer contacto alguno.

El sector aeronáutico tiene problemas semejantes a los mencionados, aunque este servicio apenas empieza.

En cuanto a las comunicaciones móviles terrestres, los satélites tienen una función lógica en ciertas regiones del mundo, en particular, en zonas de escasa población en donde sería muy costoso instalar servicios terrestres.

Actualmente, se estima que las comunicaciones móviles de larga distancia en tierra firme se efectuarán por medio de redes de radio móvil celular, de las cuales ya existen varias en el mundo. Se pretende que los satélites de comunicaciones móviles complementen e incrementen los enlaces entre aeronaves y embarcaciones marítimas, así como en áreas remotas en tierra firme.

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

De las resoluciones que se tomaron en la CAMR-92, los puntos que a continuación se indican son los referentes a la distribución de frecuencias dentro de la Banda "L" para servicios móviles, así como el tipo de servicio que ofrece, la cual se muestra en la figura I.2.

Dentro de la banda de 1525-1559 MHz, en enlace espacio - tierra primario regional y mundial, comprende las siguientes sub-bandas:

1525-1530 MHz	Atribución para la región 2 y 3 con ancho de banda de 5 MHz como servicio primario. No está atribuida específicamente para algún tipo de servicio, aéreo, marítimo o terrestre.
1530-1533 MHz	Atribución mundial con ancho de banda de 3 MHz como servicio primario para los servicios móvil terrestre por satélite y móvil marítimo por satélite.
1533-1535 MHz	Atribución mundial con ancho de banda de 2 MHz, como servicio primario para el móvil marítimo por satélite y, como servicio secundario, el de móvil terrestre por satélite.
1535-1544 MHz	Atribución mundial con ancho de banda de 9 MHz, como servicio primario para el móvil marítimo por satélite y, como servicio secundario, el de móvil terrestre por satélite.
1544-1545 MHz	Atribución para la región 2 y 3 con ancho de banda de 1 MHz como servicio primario. No está atribuida específicamente para algún tipo de servicio, aéreo, marítimo o terrestre.
1545-1555 MHz	Atribución mundial con ancho de banda de 10 MHz como servicio primario. El de móvil aéreo por satélite como atribución exclusiva.
1555-1559 MHz	Atribución mundial con ancho de banda de 4 MHz como servicio primario para el móvil terrestre por satélite.

Dentro de la banda de 1626.5-1660.5 MHz, en enlace tierra-espacio primario, regional y mundial, comprende las siguientes sub-bandas:

1626.5-1631.5 MHz	Atribución para la región 2 y 3 con ancho de banda de 5 MHz como servicio primario. No está atribuida específicamente para algún tipo de servicio, aéreo, marítimo o terrestre.
1631.5-1634.5 MHz	Atribución mundial con ancho de banda de 3 MHz, como servicio primario para los servicios móvil terrestre por satélite y móvil marítimo por satélite.
1634.5-1645.5 MHz	Atribución mundial con ancho de banda de 11 MHz, como servicio primario para el móvil marítimo por satélite y, como servicio secundario, el de móvil terrestre por satélite.
1645.5-1646.5 MHz	Atribución para la región 2 y 3 con ancho de banda de 1 MHz como servicio primario. No está atribuida específicamente para algún tipo de servicio, aéreo, marítimo o terrestre.
1646.5-1656.5 MHz	Atribución mundial con ancho de banda de 10 MHz como servicio primario. El de móvil aéreo por satélite como atribución exclusiva.
1656.5-1660 MHz	Atribución mundial con ancho de banda de 3.5 MHz como servicio primario para el móvil terrestre por satélite.
1660-1660.5 MHz	Atribución mundial con ancho de banda de 0.5 MHz como servicio primario para el móvil terrestre por satélite.

DISTRIBUCION DEL ESPECTRO RADIOELECTRICO PARA LA BANDA L.

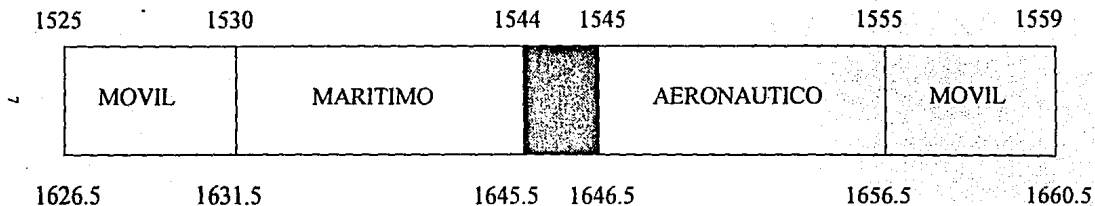


Figura I.2.- Distribución del espectro para la banda "L".

CAPITULO II

DESCRIPCION DE LOS SISTEMAS DE SATELITES PARA COMUNICACIONES MOVILES.

Los sistemas de comunicación móvil por satélite (SMS) pueden complementarse con los sistemas terrestres celulares, para extender la cobertura de comunicaciones entre zonas urbanas y zonas rurales. Los sistemas SMS no están restringidos a la cobertura terrestre, éstos pueden incluir sistemas aeronáuticos y marítimos. En la mayoría de los países, los sistemas de comunicación móvil (terrestre, aeronáutico y marítimo) están alojados dentro del espectro de frecuencias de la Banda L (1.6/1.5 GHz) y en la banda Ku (14/12 GHz).

Ambiente de operación

En los sistemas de servicio fijo se utiliza una antena direccional de alta ganancia apuntando directamente hacia el satélite. Sin embargo, en las comunicaciones móviles, la antena que se emplea es de baja ganancia, de 3 a 6 dB, tipo omnidireccional, y de 10 a 14 dB de ganancia, con una antena directiva. Estas antenas de baja ganancia recolectan la señal directa de línea de vista, junto con las componentes reflejadas en la cercanía de la terminal móvil. Estas componentes provienen de varias partes, por ejemplo, de las montañas, colinas, árboles, construcciones, etc.

Un sistema móvil por satélite debe ser diseñado para compensar la degradación de la señal por los efectos de propagación. Debido a que los servicios SMS están alojados en un estrecho ancho de banda, de sólo 34 MHz, un sistema SMS nuevo debe también tomar en cuenta este hecho para su diseño, y para que funcione eficientemente en la banda "L". Para el reuso de frecuencias del espectro, en la banda "L" se necesita el uso de antenas con haces múltiples .

II.1) SISTEMAS NACIONALES.

SISTEMA DE SATELITES SOLIDARIDAD.

II.1.1) Descripción general del sistema.

Este sistema consta de dos satélites triaxiales idénticos. El primer satélite fue lanzado en Noviembre de 1993, y el segundo, se espera lanzarlo durante el mes de septiembre de 1994.

Los satélites operarán en las bandas del servicio fijo C y Ku, y de servicio móvil en banda L. La vida útil, totalmente operacional en órbita geoestacionaria de cada uno de ellos, tendrá una duración mínima de 10 años.

De 1994 a 1999, México contará con tres satélites en operación, el Morelos II y los dos Solidaridad, con lo cual, se estima atender la demanda esperada con un crecimiento promedio anual del orden del 10%; y se calculan ingresos que aumentarán, aproximadamente, de 55.43 millones de dólares a 77.32 millones en el período 1991-1994.

Dentro de las características más importantes del nuevo sistema, con respecto a la primera generación de satélites mexicanos "Morelos", se han obtenido las siguientes:

- Más del doble de capacidad en servicios domésticos.
- Cobertura de los países vecinos.
- Haces dirigidos a países interesados de Sudamérica.
- Incremento substancial de intensidad de las señales.
- Mayor redundancia.
- Mejora de confiabilidad, vida probable y calidad de los sub-sistemas.
- Disponibilidad de canales para comunicación internacional vía satélite.

- Posibilidad de comunicación directa entre países, para señales de telefonía y datos de redes privadas, no supeditada a antenas de gran tamaño.

- Intercambio regional de programas de radio y televisión.

II.1.2) Características técnicas en la banda "L".

Este sistema consiste de dos satélites : Solidaridad 1M (109° O) y Solidaridad 2M (113° O).

Los planes de frecuencias para la banda "L" y para el enlace de alimentación de los satélites son mostrados a continuación:

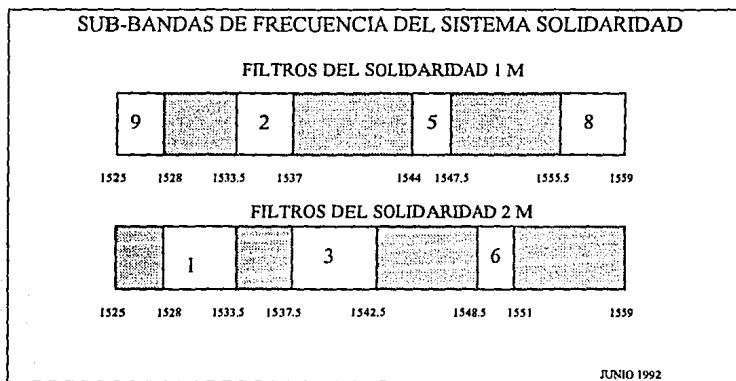
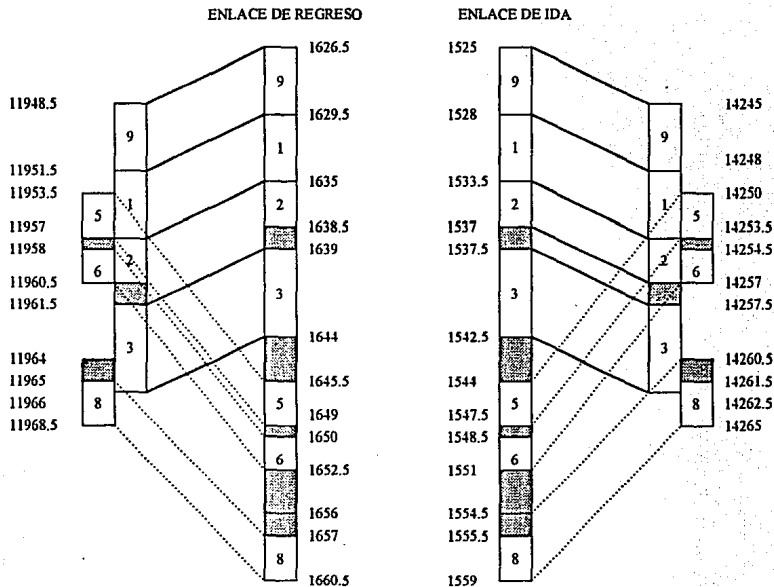


Figura II.1.- Planes de frecuencia.

El sistema, como podemos observar en la figura II.1, está dividido en 7 sub-bandas, a través de un arreglo de filtros cuya distribución se muestra en la figura II.2.



SOLIDARIDAD

Figura II.2.- Plan de frecuencias banda L.

SOLIDARIDAD 1M

FILTRO 9	1525 - 1533.5	1626.5 - 1629.5
FILTRO 2	1533.5 - 1537	1635 - 1638.5
FILTRO 5	1544 - 1547.5	1645.5 - 1649
FILTRO 8	1555.5 - 1559	1657 - 1660.5

SOLIDARIDAD 2M

FILTRO 1	1528 - 1533.5	1629.5 - 1635
FILTRO 3	1537.5 - 1542.5	1639 - 1644
FILTRO 6	1548.5 - 1551	1650 - 1652.5

El Solidaridad 1M va a operar dentro de los filtros 9,2,5 y 8, mientras que el Solidaridad 2M, lo hará en los filtros 1,3 y 6.

Si los filtros 2 y 5 están activos al mismo tiempo, una banda de guarda de 500 kHz debe ser considerada dentro de cada uno.

Los Satélites Solidaridad tienen un solo haz, que cubre el Territorio Nacional y las 200 millas náuticas del Mar Patrimonial (figura II.3), con un AEIRP de 47.5 dBW y 45.5 dBW EOC¹. El valor de la figura de mérito es de +0.5 dB para el haz pico, y de -1.5 dB para el EOC.

Las terminales móviles serán equipadas con varios tipos de antenas disponibles en el mercado. Las antenas consideradas para el sistema SOLIDARIDAD son:

- Antenas de alta ganancia (16 - 21 dBi) para los niveles de los lóbulos.

Ancho de haz

3 dB	15° Tx / 16° Rx
8 dBi	16° < θ < 21°
41-25 log θ	21° < θ < 57°
-3 dBi	θ > 57°

¹ EOC.- Límite de Cobertura (Edge of coverage).

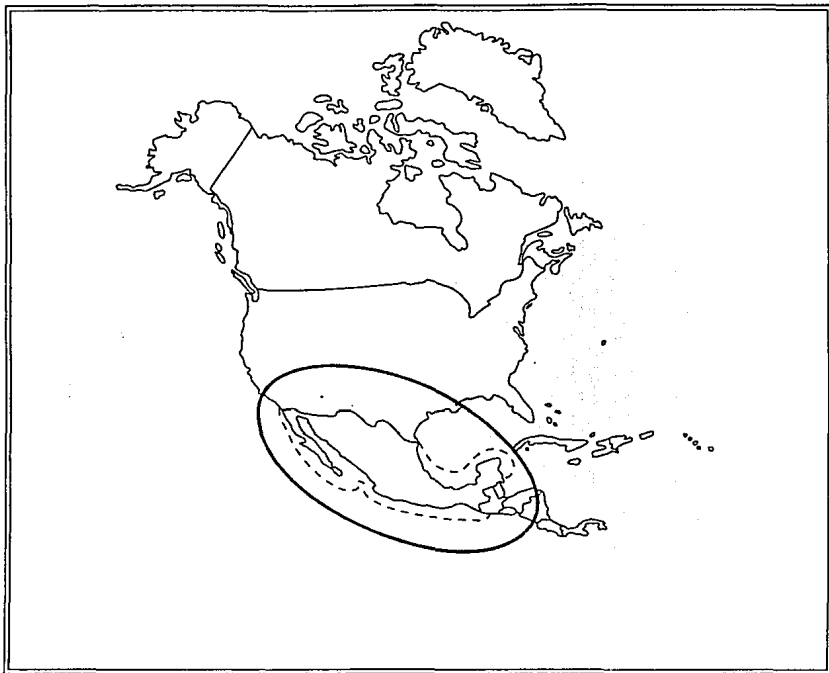


Fig. II.3 Cobertura del Sistema de Satélites Solidaridad

- Antenas de media ganancia (14 dBi) para los niveles de los lóbulos.

Ancho de haz

3 dB $36^\circ \text{ Tx} / 37^\circ \text{ Rx}$

46-25 $\log \theta$ $40^\circ < \theta < 110^\circ$

- Antenas de media ganancia (12 dBi) para los niveles de los lóbulos.

Ancho de haz

Móvil terrestre 3 dB $45^\circ \text{ Tx} / 46^\circ \text{ Rx}$

a) Arreglo de antenas de una dimensión:

Azimut 38 - 25 $\log \theta$ $21^\circ < \theta < 48^\circ$

-5 $\theta > 48^\circ$

Elevación 41 - 25 $\log \theta$ $20^\circ < \theta < 70^\circ$

-5 $\theta > 130^\circ$

b) Arreglo lineal vertical:

Elevación 41 - 25 $\log \theta$ $20^\circ < \theta < 70^\circ$

-5 $\theta > 70^\circ$

Azimut Omnidireccional

c) Arreglo de dos dimensiones:

Ancho de haz

3 dB $45^\circ \text{ Tx} / 46^\circ \text{ Rx}$

44 - 25 $\log \theta$ $25^\circ < \theta < 76^\circ$

-3 $\theta > 76^\circ$

Móvil aeronáutico

12 $-45^\circ < \theta < 45^\circ$

-1 $\theta < -45^\circ$

$\theta > 45^\circ$

d) Antenas de media ganancia (8 dBi) con una discriminación no significativa entre satélites adyacentes.

e) Antenas de baja ganancia (0 - 4 dBi) omnidireccional

A continuación, se presenta el espectro requerido para los servicios móviles dentro del Sistema Solidaridad, de acuerdo con los filtros activos dentro de los satélites.

Servicios móviles terrestres y marítimos

	Rango de frecuencia	Requerimiento (MHz)
Solidaridad 1M	1525.0 - 1528.0	1.3
Solidaridad 2M	1528.0 - 1530.5	1.7
Solidaridad 2M	1530.0 - 1533.5	0.3
Solidaridad 1M	1557.0 - 1559.0	0.9

Servicios móviles aeronáuticos

	Rango de frecuencia	Requerimiento (MHz)
Solidaridad 1M	1545.0 - 1547.5	0.2
	total	<hr/> 4.4 (MHz)

DISTRIBUCION DEL ESPECTRO RADIOELECTRICO DE LA BANDA L PARA EL SISTEMA DE SATELITES SOLIDARIDAD.

Solidaridad 1M (109.2)

1526.40-1527.70 / 1627.90-1629.20 MHz
1546.90-1547.10 / 1648.40-1648.60 MHz
1558.10-1559.00 / 1659.60-1660.50 MHz

Solidaridad 2M (113.0)

1528.30-1530.00 / 1629.80-1631.50 MHz
1530.00-1530.30 / 1631.50-1631.80 MHz

Cualquier información que se transmite al satélite tiene una frecuencia asignada que se denomina portadora. Sus características más sobresalientes son las siguientes:

- La velocidad de información.
- La relación de energía por bit a densidad de ruido.
- La relación portadora a densidad de ruido.
- El ancho de banda asignado.
- El ancho de banda ocupado.
- El tipo de modulación.
- La corrección del error ascendente.
- La relación de corrección de bits.

Normalmente, estos datos se dan para realizar el cálculo de un enlace, ya que, con base en estos parámetros, es posible obtener otras relaciones de suma importancia como son: las pérdidas, la relación señal a ruido, la interferencia, etc. Aunque estos datos son constantes para todas las portadoras, cada servicio tiene sus propias características, como se muestra a continuación:

- Para una portadora SM-V-D

Velocidad de información	4.8 kbps
(Eb/No)	9.50 bit/Hz
(C/No)umbral inferior	46.31 dB
Ancho de banda asignado	5.0 kHz
Ancho de banda ocupado	3.0 kHz
Modulación	TCM/QPSK
F.E.C.	0.67
B.E.R.	10 ⁻³

- Para una portadora SMM-DO.6

Velocidad de información	0.6 kbps
(Eb/No)	8.20 bit/Hz
(C/No)umbral inferior	35.98 dB
Ancho de banda asignado	2.5 kHz
Ancho de banda ocupado	0.75 kHz
Modulación	QPSK
F.E.C.	0.5
B.E.R.	10 ⁻⁵

- Para una portadora SMA-AO.3

Velocidad de información	0.3 kbps
(Eb/No)	8.20 bit/Hz
(C/No)umbral inferior	32.97 dB
Ancho de banda asignado	2.5 kHz
Ancho de banda ocupado	0.75 kHz
Modulación	BPSK
F.E.C.	0.5
B.E.R.	10 ⁻⁵

PORTADORAS PARA EL SERVICIO MOVIL POR SATELITE.

DESIGNACION DE LAS PORTADORAS	MODULACION	CARACTERISTICAS
SM-VDR	TCM/QPSK	Portadora de voz digital para los servicios móviles semifijos terrestres con velocidad de 4.8 kbps
SM-VD	TCM/QPSK	Portadora de voz digital para los servicios móviles terrestres con velocidad de 4.8 kbps
SM-GVD	QPSK	Portadora de voz digital para los servicios móviles terrestres con velocidad de 7.0 kbps
SM-DO.6	QPSK	Portadora de datos digital para los servicios móviles terrestres con velocidad de 0.6 kbps
SM-D2.4	QPSK	Portadora de datos digital para los servicios móviles terrestres con velocidad de 2.4 kbps

DESIGNACION DE LAS PORTADORAS	MODULACION	CARACTERISTICAS
SM-D9.6	QPSK	Portadora de datos digital para los servicios móviles terrestres con velocidad de 9.6 kbps
SMM-VD	TCM/QPSK	Portadora de voz digital para los servicios móviles marítimos con velocidad de 4.8 kbps
SMM-DO.6	BPSK	Portadora de voz digital para los servicios móviles marítimos con velocidad de 0.6 kbps
SMA-AO.3	BPSK	Portadora de datos digital para los servicios móviles aéreos con velocidad de 0.3 kbps
SMA-AO.6	BPSK	Portadora de datos digital para los servicios móviles aéreos con velocidad de 0.6 kbps
SMA-A2.4	QPSK	Portadora de datos digital para los servicios móviles aéreos con velocidad de 2.4 kbps
SMA-VD	TCM/QPSK	Portadora de voz digital para los servicios móviles aéreos con velocidad de 4.8 kbps

Los datos de cada una de las portadoras varían con respecto al tipo de servicio que se ofrece. Estas señales pueden, asimismo, verse interferidas por otras, por tanto, para evitar esta interferencia, es preciso estudiar la ubicación en la banda del satélite y la manera de transmitir la señal.

II.2) SISTEMAS REGIONALES.

SISTEMA NORTEAMERICANO DE SATELITES.

II.2.1) Características técnicas

El sistema norteamericano de satélites está constituido por dos satélites el MSAT (propiedad de Canadá) y el AMSC (propiedad de EUA)

El satélite canadiense MSAT está planeado para ser lanzado en mayo de 1994, en la posición orbital de 106.5° de longitud oeste.

Los planes de lanzamiento para el satélite AMSC se proyectan para fines de 1994, y su posición orbital será 101° de longitud oeste. El satélite de Estados Unidos y el satélite Canadiense se proveerán de mutuo respaldo, cuando ambos satélites estén operando.

El satélite MSAT empleará las siguientes frecuencias en la banda "L":

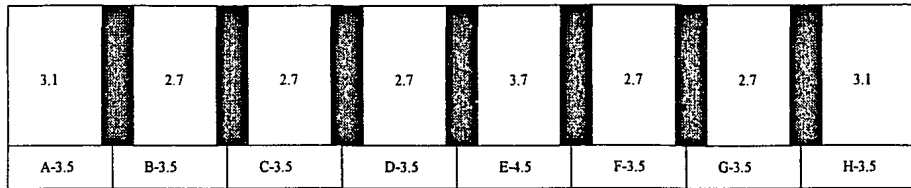
Espacio - Tierra	1530 - 1559 MHz
Tierra - Espacio	1631.5 - 1660.5 MHz

Las frecuencias de operación para el satélite AMSC son las siguientes :

ACS-1	1545 - 1559 MHz	Espacio - Tierra
	1646.5 - 1660.5 MHz	Tierra - Espacio
MCS-1	1530 - 1544 MHz	Espacio - Tierra
	1631.5 - 1645.5 MHz	Tierra - Espacio

El plan de frecuencias en la banda "L" de los satélites es mostrado en la figura II.4.

MSAT Y AMSC



20

Todas las bandas de guarda son de 800 kHz de ancho.

Las bandas de guarda del espectro van a ser compartidas a mitades por dos haces puntuales con suficiente aislamiento geográfico.

Figura II.4.- Distribución de frecuencias.

La transmisión y recepción del espectro en la banda "L" está dividida en ocho segmentos, de A - H, como se muestra en la figura II.4 y en la tabla II.1. Siete segmentos son de 3.5 MHz de ancho y sólo el segmento E es de 4.5 MHz. Este plan de frecuencias se aplica a los dos sistemas.

Tabla II.1
Características de los filtros de la banda "L".

Filtro	Frecuencia Central (MHz)	Ancho de Banda (MHz)
A	1531.75 / 1632.75	3.5
B	1535.25 / 1636.25	3.5
C	1538.75 / 1639.75	3.5
D	1542.25 / 1643.25	3.5
E	1546.75 / 1647.75	4.5
F	1550.25 / 1651.75	3.5
G	1553.75 / 1654.75	3.5
H	1557.25 / 1658.25	3.5

Cualquier haz del sistema MSAT puede acceder los 8 filtros descritos en la sección anterior. Los haces de Alaska/Hawái y del Sur comparten el mismo espectro del enlace de alimentación, por lo tanto, la operación de ambas frecuencias (reuso de frecuencias) entre estos dos haces no puede ser posible. Estos haces deben estar iluminando juntos Alaska y Hawái. Es altamente deseable un mínimo de filtros activos para un haz dado; esta medida es para reducir el nivel de carga del transpondedor, debido al tráfico en los sistemas de satélites adyacentes. Los filtros de este satélite se caracterizan por estar balanceados alrededor de 400 kHz para una señal deseada de 40 dB.

El satélite AMSC tiene 5 filtros en la dirección tierra - espacio y 5 filtros en la dirección espacio - tierra. La tabla II.1 muestra el plan de distribución de los filtros. Cada filtro contiene 8 filtros etiquetados de la A a la H. Siete filtros son de 3.5 MHz de ancho y uno de 4.5 MHz (similar al satélite MSAT). Cada filtro puede ser encendido o apagado desde la tierra. Si los filtros adyacentes están apagados, el ancho de banda para el filtro prendido es de 3.5 MHz. Si un filtro adyacente está encendido, hay una banda de guarda de 200 kHz en el centro del borde de dos filtros.

Cada uno de los haces del Este, Este-Central, Oeste-Central y Oeste tiene un filtro dedicado y, además, los cuatro pueden acceder a todo el rango de frecuencias. El haz Alaska/Hawaii y el del Sureste comparten determinados filtros. Un filtro conmutado a uno de estos haces no puede ser usado por el otro haz. El reuso de frecuencias no es posible entre estos dos haces.

La primera generación de satélites en la banda "L", para enlaces de tierra-espacio, podrán operar en 1631.5-1645.5, 1646.5-1660.5 MHz y 1530-1544, 1545-1559 MHz de enlace espacio-tierra.

En resumen, el tráfico previsto en las bandas de frecuencias de 1.5/1.6 GHz, los parámetros de la portadora de radiofrecuencia, así como las características de transmisión son mostrados en los enlaces que se darán como ejemplo.

En las redes del sistema Canadiense MSAT, la potencia distribuida por el haz de la banda "L" es controlada desde la tierra. La potencia de ruta del haz está basado en los requerimientos de tráfico. Los haces Este, Este-Central, Oeste y Oeste-Central son capaces de generar EIRP's máximos picos (no todos al mismo tiempo) de 57.5 dBW, 56 dBW, 57.5 dBW y 56.6 dBW, respectivamente. Los haces Sur y Alaska/Hawaii generan EIRP's máximos picos de 47.1 dBW y 47.8 dBW, respectivamente.

La potencia total disponible en la banda "L" del satélite MSAT será del orden de 27.5 dBW, en la entrada de la antena transmisora. El total de potencia disponible en la banda "Ku" del satélite MSAT será del orden de 15.4 dBW (a 5.3 dB de salida), a la entrada del transmisor de la antena, resultando con un EIRP pico de 42 dBW.

El sistema de tierra del MSAT consiste en segmentos de diferentes tipos de terminales, además de estaciones fijas en la banda "Ku". Las terminales móviles pueden ser equipadas con uno o varios tipos de antenas móviles.

La tabla II.2, describe las características de emisión de los tipos de antena más comunes para el sistema MSAT.

Tabla II.2
Características de la terminal móvil.

Angulo de elevación (θ)	Omnidireccional G/T / Ganancia (dB/K / dBic)	Media Ganancia G/T / Ganancia (dB/K / dBic)		Alta Ganancia G/T / Ganancia (dB/K / dBic)	
		Norte	Sur	Norte	Sur
$5 \leq \theta < 15$	-25.0 / -1.0	-21/4	-25/0	-25/0	-25/0
$15 \leq \theta < 25$	-21.5 / 2.5	-16/9	-17.5/ 7.5	-12/13	-13.5 /11.5
$25 \leq \theta < 45$	-20.0 / 4.0	-16/9	-16/9	-12/13	12/13
$45 \leq \theta \leq 60$	-20.0 / 4.0	-17.5/ 7.5	-16/9	-13.5 /11.5	12/13
$60 < \theta \leq 70$	-20.0 / 4.0	-19/6	-17.5/ 7.5	-16/9	-13.5 /11.5
$70 < \theta \leq 90$	-35.0 / -11.0	-35.0 / - 10.0	-35.0 /-10	-35.0 /-10	-20.0 /5

El satélite AMSC proveerá los servicios a 15 estados de este país, a Puerto Rico, a las Islas Vírgenes y 200 millas de sus costas. Tiene, además, la capacidad para cubrir el territorio de los países de Norte América y sus aguas patrimoniales, como se muestra en la figura II.5.

A continuación se presentan los tipos de antenas para los satélites AMSC:

Tipo de terminal	G/T (dB/K)	Ganancia (dB)	Patrón de radiación
Alta ganancia AERO	-13	12	12 Haz principal -1 $\theta > 45^\circ$
Media ganancia AERO	-20	5	Ajustable para ángulos de elevación de 10 a 90 grados Omnidireccional en Azimut
Baja ganancia AERO	-26	0	Omnidireccional
Terrestre alta ganancia	-4	21	21 Haz principal 8 $16 < \theta < 21$ 41 - 25 $\log \theta$ $21 < \theta < 57$ -3 $\theta > 57$
Terrestre baja ganancia	-22	2	Omnidireccional
Terrestre media ganancia	-17	8	Ajustable para ángulos de elevación de 10 a 90 grados Omnidireccional en Azimut

La potencia de RF es dinámicamente transferible de haz a haz, instantáneamente. Cada haz del Este, Este-Central, Oeste y Oeste-Central es capaz de generar un EIRP máximo de 58.4 dBW en el haz pico, pero no simultáneamente. Los haces de Alaska/Hawai y del Sur, son capaces de generar, cada uno, un EIRP máximo de 47.4 dBW en el haz pico. El total disponible de potencia en la banda "L" a la entrada de la antena es aproximadamente 26.2 dBW.

El receptor para el haz pico en la banda "L" presenta un G/T de alrededor de 6 dB para los haces Este, Este-Central, Oeste-Central y Oeste, y de aproximadamente 2 dB para los haces de Alaska/Hawai y del Sur.

Los requerimientos del haz del espectro de los satélites Canadiense y Estadounidense son mostrados en la tabla II.3.

Tabla II.3
Requerimientos del espectro

HAZ	CANADA	ESTADOS UNIDOS
	MHz	MHz
ESTE	5.0	5.0
ESTE CENTRAL	4.0	4.0
OESTE CENTRAL	2.0	2.0
OESTE	4.0	5.0
ALASKA/ HAWAII	1.0	2.0
DEL SUR	2.0	2.0
TOTAL	18.0	20.0

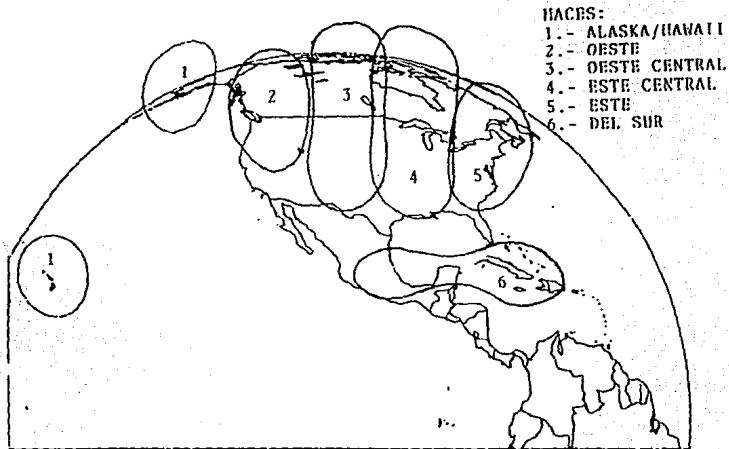


Figura II.5 Cobertura del Sistema Norteamericano Satélites.

SISTEMA "MARATHON" DE LA FEDERACION RUSA.

II.2.2) Características técnicas

El sistema de comunicaciones satelitales MARATHON está dedicado a proporcionar los servicios de voz, facsímil, comunicación de datos, télex, correo electrónico, etc., para medios móviles o regiones remotas, en condiciones total o parcialmente desposeídas de otros medios de comunicación (cable, relevadores, etc.); en estas condiciones, cuando sus abonados interactúan internacionalmente con otras redes, generales o privadas, que están disponibles para acceder la estación central o los nodos de la red terrestre, podrán disponer de estos servicios, aunque no cuenten con los medios antes mencionados.

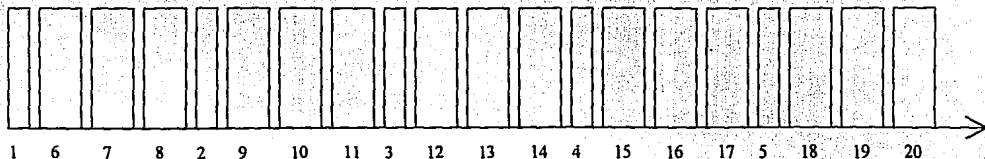
Los Satélites MARATHON están planeados para lanzarse en septiembre de 1994 y estarán ubicados en las posiciones orbitales que a continuación se muestran:

Nombre del satélite	Ubicación
MARATHON - 1	40° E
MARATHON - 2	90.5° E
MARATHON - 3	145.5° E
MARATHON - 4	160° O
MARATHON - 5	13.5° O
MARATHON - 6	26.5° O
MARATHON - 7	85° E

Para la banda "L" los transmisores y receptores están divididos en 20 segmentos, como se muestra en la figura II.6. Cinco segmentos (filtros 1-5) son de 0.5 MHz de ancho y 15 (filtros 6-20) son de 1 MHz de ancho de Banda. Cada uno de los filtros F1 - F16 puede ser conectado para el haz global o para cualquier haz, y puede ser ajustado para las bandas de frecuencia de 1530-1559/1631.5-1660.5 MHz. Conmutando y ajustando los filtros de transmisión o recepción en los canales de la banda "L", estando sus portadoras fuera de sincronía, a través de señales de la tierra, cada filtro puede ser conmutado a encendido o apagado, y por lo tanto, realizar una sincronía de señales. La banda de guarda mínima es de 200 kHz.

El sistema MARATHON está planeado para cubrir toda la superficie de Rusia, y la mayoría de áreas oceánicas donde sus embarcaciones navegan, como se muestra en la figura II.7

MARATHON



28

- El mínimo ancho para la banda de guarda es de 200 kHz.
- Ancho de banda de los filtros F1-F5 es 0.5 MHz y F6-F20 de 1.0 MHz.
- Hay un banco con 10 filtros de los cuales 5 son del banco principal y 5 del banco sobrante.
- Cada banco de filtros puede ser conectado al haz global o a cualquier haz puntual.
- Cualquier filtro puede ser conmutado desde la tierra y puede trabajar en todo el rango de frecuencias.

Figura II.6.- Plan de Canalización.

El sistema MARATHON (Arkos) de la Federación Rusa en la banda "L", va a operar dentro de las sub-bandas de 1631.5-1645.5 y 1646.5 -1660.5 MHz de enlace tierra-espacio, y en 1530-1544 y 1545-1559 MHz de enlace espacio-tierra.

En las redes del sistema MARATHON, la distribución de potencia se da entre los haces y sus portadoras de salida a través de señales que se mandan desde la tierra. La potencia de cada haz depende del nivel de tráfico que se da en cada zona que cubra. El EIRP máximo de cada haz (no puede ser simultáneo) es de 44 dBW (en régimen lineal). La potencia total disponible en las antenas de entrada del sistema para la banda "L"(en régimen lineal) es del orden de 22.8 dBW.

La potencia total disponible en las antenas de entrada del sistema para la banda "C" (en régimen lineal) es del orden de 11.2 dBW.

A continuación, se indican los valores pico de G/T para varios haces de la banda "L", así como para el enlace de alimentación :

Haz global	-10 dB/°K
Haz puntual	-5 dB/°K
Haz de alimentación	-8.5 dB/°K

Los segmentos terrestres del sistema MARATHON cuentan con varios tipos de terminales, así como con estaciones fijas para la banda "C". Las terminales móviles serán equipadas con uno de los diferentes tipos de antenas móviles que se encuentran en el mercado.

Los parámetros de las antenas móviles que se usarán en las estaciones terrestres del sistema MARATHON, se proporcionan a continuación:

Características de las antenas móviles terminales

Tipo de estación móvil	Ganancia y nivel del lóbulo	Angulo del eje
Estación Marítima y terrestre		
Estándar A	G=21.5(Tx);21.0(Rx) Ancho lóbulo -3 dB G = 8 = 12 dB G= 41-25 Lg θ dB G = -3 dB	Haz principal 15.0°(Tx);16.0°(Rx) 16° < θ < 21° 21° < θ < 57° 57° < θ
Estándar B	G=21.0(Tx);21.0(Rx) Ancho lóbulo -3 dB G = 12 dB G= 45.5-25 Lg θ dB G = 0 dB	Haz principal 15.0°(Tx);16.0°(Rx) 13° < θ < 22° 22° < θ < 65° 65° < θ
Estándar M	G=13.5(Tx);12.9(Rx) Ancho lóbulo -3 dB G = 10 dB G= 47-25 Lg θ dB G = 5 dB	Haz principal 37.5°(Tx);40.0°(Rx) 22° < θ < 30° 30° < θ < 48° 48° < θ < 180°
Estándar C	G = 1 dB	Omnidireccional
Sarsat	G = 1 dB	Omnidireccional
Estándar D	G=13.5(Tx);12.9(Rx) Ancho lóbulo -3 dB G= 17-0.021 θ^2 dB G = 8.98 B G= 47.35-25 Lg θ dB G = 5.35 dB	Haz principal 24.0°(Tx);24.0°(Rx) 0° < θ < 19.42° 19.42° < θ < 34.28° 34.28° < θ < 48° 48° < θ < 180°
Estándar E	Antena transmisión Gmax= 21.0 dB Ancho lóbulo -3 dB G= 17-0.053 θ^2 dB G = 11.98 dB G= 45.35-25 Lg θ dB G = 3.35 dB Antena recepción Gmax= 18.0 dB Ancho lóbulo -3 dB G= 17-0.027 θ^2 dB G = 9.73 dB G= 46.85-25 Lg θ dB G = 4.85 dB	Haz principal 24.0°(Tx);24.0°(Rx) 0° < θ < 19.42° 19.42° < θ < 34.28° 34.28° < θ < 48° 48° < θ < 180° Haz principal 24.0°(Tx);24.0°(Rx) 0° < θ < 19.42° 19.42° < θ < 34.28° 34.28° < θ < 48° 48° < θ < 180°

Estación Aeronáutica		
Estándar AERO T1	G = 1 dB	Omnidireccional
Estándar AERO T2	G=13.5(Tx);12.9(Rx) Ancho lóbulo -3 dB G = 10 dB G= 47-25 Lg θ dB G = 5 dB	Haz principal 37.5°(Tx);40.0°(Rx) 22° ≤ θ ≤ 30° 30° ≤ θ < 48° 48° ≤ θ ≤ 180°
Estándar AERO N	G=17.0(Tx);17.0(Rx) Ancho lóbulo -3 dB G= 17-0.021 θ^2 dB G = 8.98 dB G= 47.35-25 Lg θ dB G = 5.35 dB	Haz principal 24.0°(Tx);24.0°(Rx) 0° ≤ θ < 19.42° 19.42° ≤ θ < 34.28° 34.28° ≤ θ < 48° 48° ≤ θ < 180°

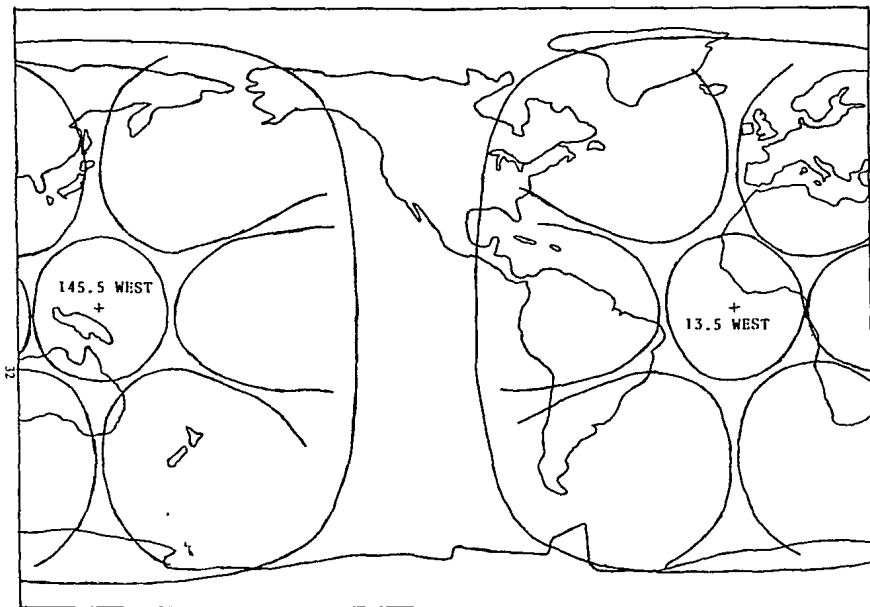


Fig. II.7.- Cobertura del Sistema de Satélites Marathon

II.3) SISTEMAS GLOBALES

SISTEMA DE SATELITES INMARSAT

II.3.1) Características técnicas

El sistema de satélites INMARSAT consiste del INMARSAT 2 e INMARSAT 3, los cuales proveerán redes con cobertura a todo el mundo para los servicios móviles por satélite, como se muestra en la figura II.8.

Los nombres de los satélites y la localización de las órbitas para estos satélites geoestacionarios se presentan a continuación:

Región de Operación	Satélites INMARSAT 2		Satélites INMARSAT 3	
Región del Océano Atlántico	AOR ESTE	(15.5° O)	AOR ESTE	(15.5° O)
	AOR ESTE 2	(17.0° O)	AOR ESTE 2	(17.0° O)
	AOR CENTRAL 2A	(32.0° O)	AOR CENTRAL 2A	(32.0° O)
	AOR OESTE 2	(54.0° O)	AOR OESTE 2	(54.0° O)
	AOR OESTE	(55.0° O)	AOR OESTE	(55.0° O)
Región del Océano Pacífico	POR 1	(179.5° E) (179.0° E)	POR 1	(179.0° E)
	POR 2	(177.5° E) (178.0° E)	POR 2	(178.0° E)

Los planes de canalización para los transpondedores del INMARSAT 2 y 3, y las características más sobresalientes de este plan de canalización, son mostrados en las figuras II.9 y II.10.

a) INMARSAT 2 :

Este satélite opera totalmente dentro de los haces en servicio y del enlace de alimentación. En dirección tierra-espacio (en la bandas C-L) no hay canalización. Pero en dirección espacio-tierra (L-C) hay cuatro transpondedores, como se muestra en la figura II.9.

b) INMARSAT 3 :

Este opera totalmente dentro del haz central en servicio y del enlace de alimentación. Las bandas de guarda del transpondedor son indicadas dentro del plan de canalización (figura II.10). Dentro del servicio de enlace, cualquier haz puede acceder a cualquier transpondedor. Sin embargo, los canales del transpondedor marcados como G1 o G2 pueden ser accedidos, solamente, estando dentro del haz global. Sólo un haz puede ser asignado para cualquier entrada de los filtros.

De acuerdo con la demanda, en ocasiones, si dos de cualquiera de los bloques de filtros adyacentes dentro de un mayor filtro de modulación puede ser accedido por el mismo haz, entonces la banda de guarda también puede utilizarse.

A continuación, mencionamos algunos tipos de antenas usados en los enlaces móviles de los satélites INMARSAT :

- Antena INM-C/SAR. Omnidireccional con 11 dBW de portadora nominal.

- Antena INM-AERO(H).

Haz principal 12 dB. ganancia relativa

$\theta > 45^\circ$ -1 dB

- Arreglo horizontal de una dimensión

Azimut 17° (AZ)

38-25 log θ $21^\circ < \theta < 48^\circ$ 80° (EL)

-3.0 $\theta > 48^\circ$

Elevación

15-0.00120 $20^\circ < \theta < 130^\circ$

-3.0 $\theta > 130^\circ$

- Arreglo vertical de una dimensión
Azimut Omnidireccional

Elevación
41-25 log θ $20^\circ < \theta < 70^\circ$
-3.0 $\theta > 70^\circ$

- Arreglo de dos dimensiones $45^\circ(\text{Tx})$
 $46^\circ(\text{Rx})$

En línea paralela a la longitud del arreglo
42-25 log θ $21^\circ < \theta < 76^\circ$
-3.0 $\theta > 76^\circ$

En línea paralela al lado corto del arreglo
44-25 log θ $25^\circ < \theta < 76^\circ$
-3.0 $\theta > 76^\circ$

Los haces satelitales del INMARSAT 2 y 3 requerirán estar sobrados con respecto al haz global, para proteger el sistema a corto y largo plazos contra cambios térmicos de los satélites. Por ejemplo, si durante el lanzamiento del INMARSAT 3 hubiera una falla, la operación del satélite INMARSAT 2 podría ser requerida hasta 1995.

En ambos plazos, el INMARSAT 2 podría operar dentro del haz global del espectro asignado para el satélite INMARSAT 3, y dentro del sitio del haz espectral que no estará en reuso con otras redes.

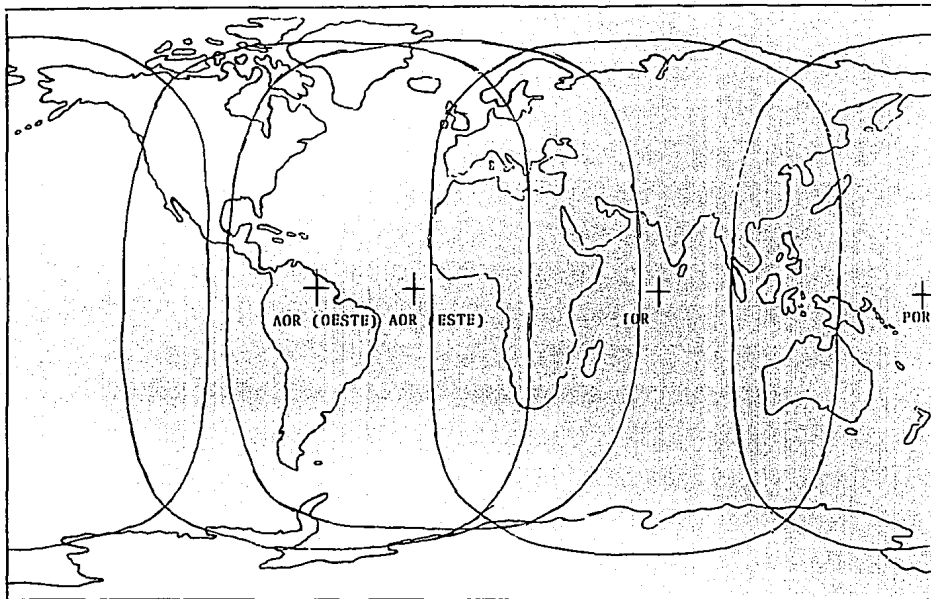


Figura II.8 Cobertura del Sistema de Satélites INMARSAT.

AOR.- Región del Océano Atlántico

IOR.- Región del Océano Índico

POR.- Región del Océano Pacífico

INMARSAT 2

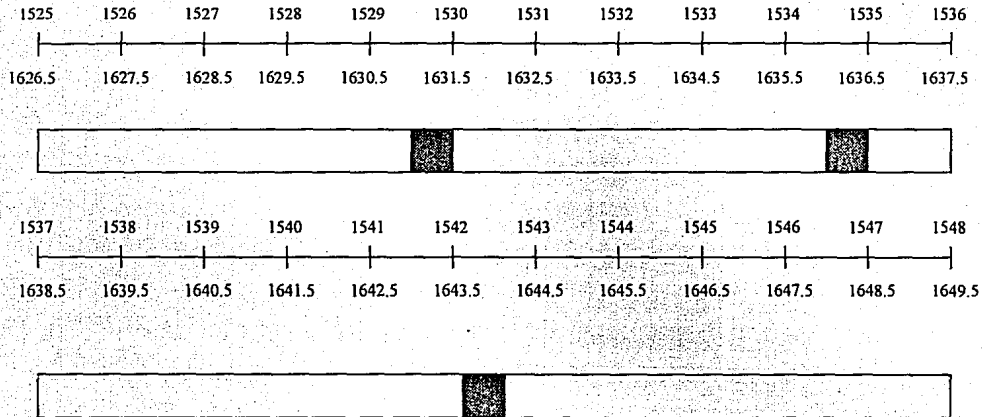


Figura II.9.- Plan de Canalización.

INMARSAT 3

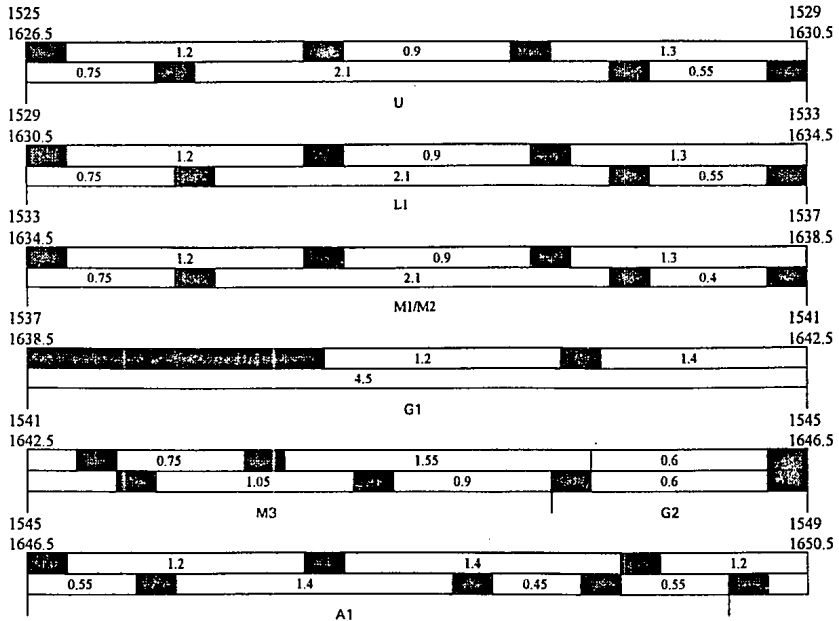


Figura II.10.- Plan de Canalización.

INMARSAT 3

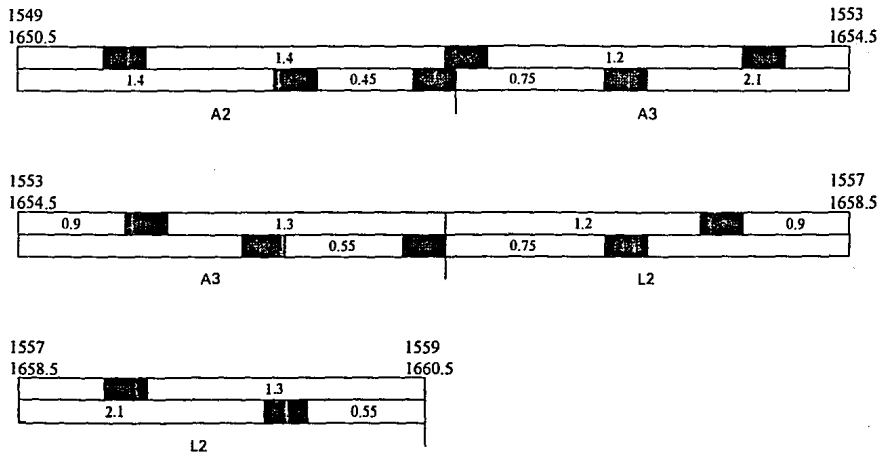


Figura II.10.- Plan de Canalización. (Continuación)

CAPITULO III

ANALISIS DE LOS CRITERIOS DE COMPARTICION ENTRE SISTEMAS

III.1) Criterios de compartición

Criterio de interferencia:

- 1) El criterio de interferencia desde un satélite adyacente debe ser igual o menor al 6% de la contribución del C/N^1 de umbral, con una atenuación máxima, para una entrada simple del satélite adyacente, de C/I^2 de 25 dB.
- 2) Dado el C/No de umbral requerido para el enlace, el C/I de un satélite adyacente es calculado por la siguiente relación:

$$C/I = C/No - 10 \log (BW \text{ ocupado}) + 12.2 \text{ (dB)}$$

en donde :

BW ocupado (o ruido BW) = $1.25 \times$ Symbol rate

Symbol rate = Information rate \times Factor de modulación \times (1/Coding rate)

Factor de modulación = 1 (para BPSK) ó 0.5 (para QPSK).

C/No es el nivel de umbral requerido.

La metodología para calcular la relación portadora a interferencia en los enlaces ascendentes y descendentes, se muestra a continuación:

¹ C/N .- Relación portadora a ruido.

² C/I .- Relación portadora a interferencia.

Enlace tierra - espacio

$$C/I = (EIRP_W - EIRP_I) + (SATDIS + MESDIS) - PR + 10 \log (BWF)$$

$$C/I_{\text{Excess}} = C/I - C/I_{\text{req}} \text{ (dB)}$$

Siendo :

$EIRP_W$.- EIRP nominal (o mínimo) deseado de transmisión del satélite (dBW)

$EIRP_I$.- EIRP (o máximo) de interferencia nominal de transmisión del satélite (dBW)

C/I_{req} .- Criterio de entrada simple de C/I

SATDIS.- Discriminación de la interferencia de la antena de transmisión: diferencia entre la ganancia de la antena transmisora con interferencia y la ganancia deseada en la recepción de la estación terrena (nótese que los valores de EIRP dependen de la localización de la estación terrena).

MESDIS.- Recepción deseada de la antena de la estación móvil, discriminando la interferencia del satélite.

PR.- Pérdidas aleatorias por atenuación

$10 \log (BWF)$.- Factor de ajuste del ancho de banda de la portadora: tomando en cuenta que la mayoría de portadoras que se están considerando son digitales, las siguientes aproximaciones son usadas:

Si $OBW_W > ABW_I$ Entonces $BWF = OBW_W / ABW_I$

Si $OBW_W \leq ABW_I$ y $OBW_W < OBW_I$ Entonces $BWF = OBW_W / OBW_I$

Si $OBW_W \leq ABW_I$ y $OBW_W > OBW_I$ Entonces $BWF = 1.0$

OBW.- Ancho de banda ocupado

ABW.- Ancho de banda asignado

Enlace Espacio - Tierra

$$C/I = (EIRP_W - EIRP_I) + (\text{SATDIS} + \text{MESDIS}) - \text{PR} + 10 \log(\text{BWF})$$

$$C/I_{\text{Excess}} = C/I - C/I_{\text{req}} \text{ (dB)}^3$$

Las técnicas de compartición utilizadas para los criterios antes mencionados, se describen a continuación:

1) Empleando ambos tipos de discriminación en las antenas, de la estación terrena y del satélite en el enlace tierra-espacio .

En la banda C se requiere una separación entre satélites de 1.5°.

En la banda Ku se requiere una separación entre satélites de 2.0°.

Esto para el reuso del espectro

2) Para el caso de las estaciones móviles, que emplean antenas omnidireccionales (con baja discriminación) , se tienen varias opciones posibles de compartición del espectro como :

³ Los términos de la ecuación fueron definidos en el apartado tierra-espacio.

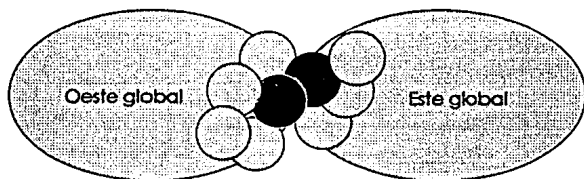
Opción I:

La separación geográfica de las áreas de servicio (radiación horizontal global) y compartición, de un modo complementario Este-Oeste.

OPCION I

OESTE GLOBAL
HAZ PUNTUAL ESTE

ESTE GLOBAL
HAZ PUNTUAL OESTE

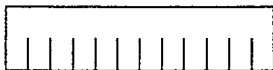


Opción II:

Segregación de portadoras sensibles (por ejemplo, control de redes y portadoras de señalización), las cuales pueden tener características incompatibles comparadas con otras portadoras más comunes.

Opción III:

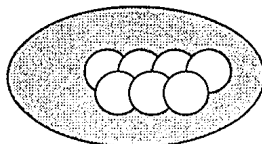
Segmentación del espectro para coberturas, inclusive mutuas.



Tráfico global



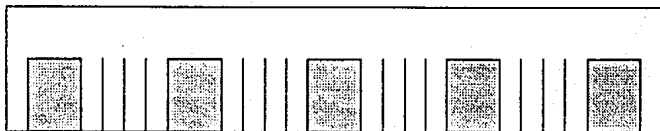
Tráfico del haz puntual



Coberturas, inclusive mutuas

Opción IV:

Frecuencias entrelazadas (algunas portadoras que no emplean el espectro en forma óptima).



Tráfico global



Tráfico del haz puntual

Opción V:

Arreglos de filtros de los sistemas satelitales (bandas que se utilizaron; o que no usaron otros sistemas).

Ejemplos de cálculos de enlaces.

Servicio Móvil Marítimo con una Portadora SMM-D0.6

$$1.- \left. \frac{C}{N_0} \right|_{\text{UMBRAL}} = \left(\frac{E_b}{N_0} \right) + 10 \log V_{\text{INFORMA}}$$

En cuya ecuación:

E_b/N_0 = Relación energía por bit entre densidad de ruido (bit / Hz)

V_{INFORMA} = Velocidad de información (bps)

$$\left. \frac{C}{N_0} \right|_{\text{UMBRAL}} = 8.2 + 10 \log 600$$

$$\left. \frac{C}{N_0} \right|_{\text{UMBRAL}} = 35.98$$

$$2.- G_{\text{ANTENA}} (dB) = 10 \log \left[n(\pi D)^2 \left(\frac{f}{c} \right)^2 \right]$$

En la cual:

n = Eficiencia de la antena

D = Diámetro de la antena (m)

f = Frecuencia ascendente (Ghz)

c = Velocidad de la luz (3×10^8 m/s)

$$G_{\text{ANTENA}} (dB) = 10 \log \left[0.6(2.4\pi)^2 \left(\frac{14.25 \times 10^9}{3 \times 10^8} \right)^2 \right]$$

$$G_{\text{ANTENA}} (dB) = 48.84$$

$$3.- FSL = 20 \log \left[4\pi d \left(\frac{f}{c} \right) \right]$$

en donde:

d = distancia al satélite (m)

substituyendo:

$$FSL = 20 \log \left[4\pi (36 \times 10^3) \left(\frac{14.25 \times 10^9}{3 \times 10^8} \right) \right]$$

$$FSL = 206.64$$

$$4. \frac{C}{No} \Big|_{ASC} = PIRE_{E/T} - FSL - L_{ABS} + \frac{G}{T_{SAT}} - (-228.6) - P_{LL}$$

Siendo :

PIRE_{E/T} = Potencia isotrópica radiada por la estación terrena (dBw)

L_{ABS} = Pérdidas por absorción (dB)

G/T_{SAT} = Figura de mérito del satélite (dB / °K)

-228.6 = Constante de Boltzman

P_{LL} = Pérdidas por precipitación

$$\frac{C}{No} \Big|_{ASC} = 63.21 \quad dB - Hz$$

$$5. \frac{C}{N} \Big|_{ASC} = \frac{C}{No} \Big|_{ASC} - 10 \log BW_{OCUPADO}$$

En esta ecuación:

BW_{OCUPADO} = Ancho de banda ocupado

$$\frac{C}{N} \Big|_{ASC} = 63.21 - 10 \log 750$$

$$\frac{C}{N} \Big|_{ASC} = 34.45 \quad dB$$

$$6. \left. \frac{C}{I} \right|_{SATADY} = \left. \frac{C}{No} \right|_{UNIBRAL} - 10 \log BW_{OCUPADO} - Crit. Inter.$$

en donde:

Crit. Inter. = Criterio de Interferencia.

$$Crit. Inter. = 10 \log 0.06 = -12.2$$

Para aplicar esta fórmula, existen dos criterios muy importantes que se tomaron en cuenta:

- 1) Para el enlace ascendente, se considera constante a 30 dB debido a que lo mínimo para que no haya interferencia es 25 dB; con esto se garantiza que no exista interferencia. Este es un valor asignado para los cálculos.
- 2) Como el criterio de interferencia dice que tiene que ser el 6% del valor, para evitar este fenómeno, se obtiene una constante de -12.2 dB.

$$\left. \frac{C}{I} \right|_{SATADY} = 30 \text{ dB} \quad \text{En la fórmula anterior se considera constante.}$$

Para el cálculo de C/I de intermodulación, se tomó un valor arbitrario para realizar los escenarios de compartición (32 dB) en el momento de hacer el trabajo. Este valor, normalmente, se calcula de tablas con respecto a la densidad de intermodulación de tercer grado; también, se toma en cuenta la pérdida que hay en el haz principal en cuanto a distancias, por ejemplo, del centro del haz a cualquier ciudad, se da una pérdida de 1.55 dB por efectos de atenuación, ya que es un haz puntual. Tomándose en cuenta, también, el criterio de interferencia de 25 dB entre satélites, la fórmula es la siguiente.

$$\left. \frac{C}{I} \right|_{INTERMODULACION} = 32 - 1.55 = 30.45 \text{ dB}$$

El valor de C/I de miscelánea, se obtiene de la suma de todas las atenuaciones (por polarización, por reflejo, etc.); para nuestro caso, lo tomaremos de 100 dB-Hz para el enlace ascendente, y de 30 dB-HZ para el descendente, sólo que este último valor variará, debido a que se toman en consideración las pérdidas por desvanecimiento.

$$\left. \frac{C}{I} \right|_{MIS} = 100 \quad dB - Hz$$

Para calcular el $(C/N+I)$ total se procede de la siguiente manera:

$$\left. \frac{C}{N+I} \right|_{TOTAL} = 10 \log \left(\frac{1}{\frac{1}{\log^{-1} \frac{C}{10 N_O}} + \frac{1}{\log^{-1} \frac{C}{10 N}} + \frac{1}{\log^{-1} \frac{I_{SATADY}}{10}} + \frac{1}{\log^{-1} \frac{I_{INTERMOD}}{10}} + \frac{1}{\log^{-1} \frac{I_{MIS}}{10}}} \right)$$

Substituyendo valores se tiene el siguiente resultado :

$$\left. \frac{C}{N+I} \right|_{TOTAL} = 26.4570 \quad dB$$

En caso de existir los datos necesarios, se pueden obtener las siguientes relaciones:

$$\%Pot = 10^{\left(\frac{PIRE_{PORTA} - PIRE_{SAT} + OBO}{10} \right)} \times 100$$

$$PIRE_{PORTA} = 18.85 \quad dBw$$

$$PIRE_{SAT} = 50.70 \quad dBw$$

$$OBO = 5.1$$

$$\%Pot = 10^{\left(\frac{18.85 - 50.7 + 5.1}{10} \right)} \times 100$$

$$\%Pot = 0.2113$$

$$N^{\circ} \text{ de Portadoras} = 100 / \%Pot.$$

$$N^{\circ} \text{ de Portadoras} = 100 / 0.2113$$

$$N^{\circ} \text{ de Portadoras} = 473.2607$$

$$\text{Fracción} = 10 \log \frac{1}{N^{\circ} \text{ de Portadoras}}$$

$$\text{Fracción} = 10 \log \frac{1}{4732607}$$

$$\text{Fracción} = -26.7510$$

$$\text{PotenciaHPA} = PIRE_{\frac{E}{T}} - G_{ANT_{TX}} = 34.83 - 48.84 = -14.01 \text{ dBW}$$

$$\text{HPA} = \log^{-1} \frac{\text{PotenciaHPA}}{10} = \log^{-1} \frac{-14.01}{10} = 39.71 \times 10^{-3} \text{ Watts}$$

Servicio Móvil Terrestre con una Portadora SM-VDR

$$\left. \frac{C}{N_0} \right|_{\text{LABRAL}} = \left(\frac{E_b}{N_0} \right) + 10 \log V_{\text{INFORMA}}$$

$$\left. \frac{C}{N_0} \right|_{\text{LABRAL}} = 8,2 + 10 \log 4600$$

$$\left. \frac{C}{N_0} \right|_{\text{LABRAL}} = 46,3124 \quad \text{dB}$$

$$G_{\text{ANTENA}} (\text{dB}) = 10 \log \left[4(\pi D)^2 \left(\frac{f}{c} \right)^2 \right]$$

$$G_{\text{ANTENA}} (\text{dB}) = 10 \log \left[0,6(2,4\pi)^2 \left(\frac{14,25 \times 10^9}{3 \times 10^8} \right)^2 \right]$$

$$G_{\text{ANTENA}} (\text{dB}) = 48,84 \text{ dBi}$$

$$FSL = 20 \log \left[4\pi \left(\frac{f}{c} \right) \right]$$

$$FSL = 20 \log \left[4\pi (36 \times 10^6) \left(\frac{14,25 \times 10^9}{3 \times 10^8} \right) \right]$$

$$FSL = 206,64 \text{ dB}$$

$$\left. \frac{C}{N_0} \right|_{\text{ASC}} = \text{PIRE}_{\text{BIT}} - FSL - L_{\text{ABS}} + \frac{G}{T_{\text{SAT}}} - (-228,6) - P_{\text{LL}}$$

$$\left. \frac{C}{N_0} \right|_{\text{ASC}} = 24,48 - 206,64 - 0 + 6,42 + 228,6 - 0$$

$$\left. \frac{C}{N_0} \right|_{\text{ASC}} = 56,86 \quad \text{dB-Hz}$$

$$\left. \frac{C}{N} \right|_{ASC} = \left. \frac{C}{N_0} \right|_{ASC} - 10 \log BW_{OCUPADO}$$

$$\left. \frac{C}{N} \right|_{ASC} = 58.86 - 10 \log 3000$$

$$\left. \frac{C}{N} \right|_{ASC} = 22.0887 \text{ dB}$$

$$\left. \frac{C}{I} \right|_{SATADY} = \left. \frac{C}{N_0} \right|_{UNIBRAL} - 10 \log BW_{OCUPADO} - \text{Crit. Inter.}$$

$$\left. \frac{C}{I} \right|_{SATADY} = 30 \text{ dB} \quad \text{Se considera constante.}$$

$$\left. \frac{C}{I} \right|_{INTERMODULACION} = 32 - 1.55 = 30.45 \text{ dB}$$

$$\left. \frac{C}{I} \right|_{MISC} = 100 \text{ dB-Hz}$$

$$\left. \frac{C}{N+I} \right|_{TOTAL} = 10 \log \left(\frac{1}{\log^{-1} \frac{C}{N_0} / 10 + \log^{-1} \frac{C}{N} / 10 + \log^{-1} \frac{I_{SATADY}}{10} + \log^{-1} \frac{I_{INTERMOD.}}{10} + \log^{-1} \frac{I_{MIS}}{10}} \right)$$

$$\left. \frac{C}{N+I} \right|_{TOTAL} = 20.9228 \text{ dB}$$

$$\%Pot = 10^{\left[\frac{(PIRE_{PORTA} - PIRE_{SAT} + OBO)}{10} \right]} \times 100$$

$$\%Pot = 10^{\left[\frac{(12.49 - 50.7 + 5.1)}{10} \right]} \times 100$$

$$\%Pot = 0.04886$$

$$N^{\circ} \text{ de Portadoras} = 100 / \%Pot.$$

$$N^{\circ} \text{ de Portadoras} = 100/0.04886$$

$$N^{\circ} \text{ de Portadoras} = 2046.44$$

$$\text{Fracción} = 10 \log \frac{1}{N^{\circ} \text{ de Portadoras}}$$

$$\text{Fracción} = 10 \log \frac{1}{2046.44}$$

$$\text{Fracción} = -33.1$$

$$\text{PotenciaHPA} = \text{PIRE}_{\frac{E}{T}} - G_{ANT_{TX}} = 28.48 - 48.84 = -20.36 \text{ dBW}$$

$$\text{HPA} = \log^{-1} \frac{\text{PotenciaHPA}}{10} = \log^{-1} \frac{-20.36}{10} = 9.20 \times 10^{-3} \text{ Watts}$$

Enlace de Servicio Móvil Aeronáutico con una Portadora SMA-A0.3

$$\left. \frac{C}{N_0} \right|_{UMBRAL} = \left(\frac{E_b}{N_0} \right) + 10 \log V_{INFORMA}$$

$$\left. \frac{C}{N_0} \right|_{UMBRAL} = 8.2 + 10 \log 300$$

$$\left. \frac{C}{N_0} \right|_{UMBRAL} = 32.9712 \quad \text{dB}$$

$$G_{ANTENA} \text{ (dB)} = 10 \log \left[\eta (\pi D)^2 \left(\frac{f}{c} \right)^2 \right]$$

$$G_{ANTENA} \text{ (dB)} = 10 \log \left[0.6 (2.4\pi)^2 \left(\frac{14.25 \times 10^9}{3 \times 10^8} \right)^2 \right]$$

$$G_{ANTENA} \text{ (dB)} = 48.84 \text{ dBi}$$

$$FSL = 20 \log \left[4\pi d \left(\frac{f}{c} \right) \right]$$

$$FSL = 20 \log \left[4\pi (36 \times 10^6) \left(\frac{14.25 \times 10^9}{3 \times 10^8} \right) \right]$$

$$FSL = 206.64 \text{ dB}$$

$$\left. \frac{C}{N_0} \right|_{ASC} = PIRE_{EIT} - FSL - L_{ABS} + \frac{G}{T_{SAT}} - (-228.6) - P_{LL}$$

$$\left. \frac{C}{N_0} \right|_{ASC} = 31.32 - 206.64 - 0 + 6.42 + 228.6 - 0$$

$$\left. \frac{C}{N_0} \right|_{ASC} = 59.70 \text{ dB-Hz}$$

$$\left. \frac{C}{N} \right|_{ASC} = \left. \frac{C}{N_0} \right|_{ASC} - 10 \log BW_{OCUPADO}$$

$$\left. \frac{C}{N} \right|_{ASC} = 59.70 - 10 \log 0.75 \times 10^3$$

$$\left. \frac{C}{N} \right|_{ASC} = 30.9493 \text{ dB}$$

$$\left. \frac{C}{I} \right|_{SATADY} = \left. \frac{C}{N_0} \right|_{UMBRAL} - 10 \log BW_{OCUPADO} - \text{Crit. Inter.}$$

$$\left. \frac{C}{I} \right|_{SATADY} = 30 \text{ dB} \quad \text{Se considera constante.}$$

$$\left. \frac{C}{I} \right|_{INTERMODULACION} = 32 - 155 = 30.45 \text{ dB}$$

$$\left. \frac{C}{I} \right|_{ABSC} = 100 \text{ dB-Hz}$$

$$\left. \frac{C}{N+I} \right|_{TOTAL} = 10 \log \left(\frac{1}{\log^{-1} \frac{C}{N_0} / 10} + \frac{1}{\log^{-1} \frac{N}{10}} + \frac{1}{\log^{-1} \frac{I_{SATADY}}{10}} + \frac{1}{\log^{-1} \frac{I_{INTERMOD}}{10}} + \frac{1}{\log^{-1} \frac{I_{MIS}}{10}} \right)$$

$$\left. \frac{C}{N+I} \right|_{TOTAL} = 25.6762 \text{ dB}$$

$$\% P_{OT} = 10^{((PIRE_{FCRRA} - PIRE_{SAT} + OBO) / 10)} \times 100$$

$$\% P_{OT} = 10^{((15.34 - 45.5 + 0) / 10)} \times 100$$

$$\%Pot = 0.09638$$

$$N^{\circ} \text{ de Portadoras} = 100/\%Pot.$$

$$N^{\circ} \text{ de Portadoras} = 100/0.09638$$

$$N^{\circ} \text{ de Portadoras} = 1037.52$$

$$Fracción = 10 \log \frac{1}{N^{\circ} \text{ de Portadoras}}$$

$$Fracción = 10 \log \frac{1}{1037.52}$$

$$Fracción = -30.1$$

$$Potencia_{HPA} = PIRE_{\frac{E}{T}} - G_{ANT_{TX}} = 31.32 - 48.84 = -17.52 \text{ dBW}$$

$$HPA = \log^{-1} \frac{Potencia_{HPA}}{10} = \log^{-1} \frac{-17.52}{10} = 17.701 \times 10^{-3} \text{ Watts}$$

Criterios para matrices de compartición.

a) Características deseadas para la compartición del espectro:

Se debe asumir una adecuada capacidad para alojar nuevos sistemas (para extenderse en lo posible) sin mayor disrupción de los existentes, y reemplazarlos con sistemas planeados (que se encuentran en la fase final de construcción y diseño); esto es para evitar la caída del sistema anterior, a cada momento, con la implementación del nuevo sistema. La coordinación del tráfico entre sistemas debe ser guardada al mínimo.

b) Elementos que hay que tener en consideración mientras se desarrollan las matrices de compartición:

- Niveles de interferencia aceptables en ambos enlaces tierra-espacio y espacio-tierra.
- "Robo" de potencia en los transpondedores del enlace espacio-tierra.
- Restricciones de los equipos (arreglos de filtros).
- La ubicación de la estación terrena en las áreas donde se sobreponen los haces.
- Posibilidad de improvisar un aislamiento entre haces, para sistemas que se encuentran en la fase de diseño (para extenderse en lo posible).

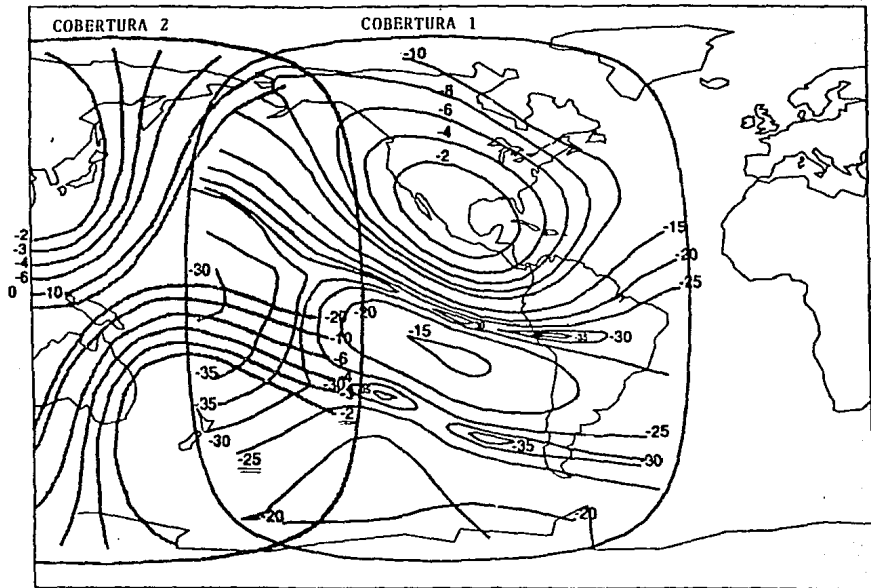
c) Principios que se usaron en la compartición:

- Utilización de topologías y aislamientos geográficos para haces puntuales.
- Una operación compartida y extendida de las frecuencias, en lo posible.
- Protección del tráfico sensible con portadoras con banda segregada.
- Compartición de niveles para minimizar el desuso del espectro.
- Emplear bandas de guarda.
- Minimizar los detalles de la coordinación del tráfico.

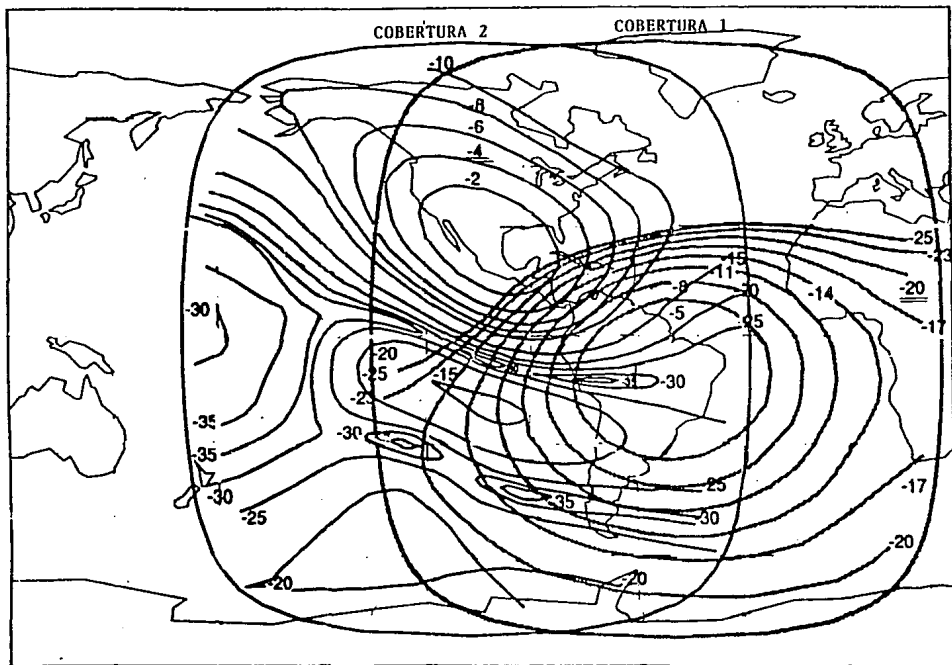
A continuación se dará una breve explicación de como obtener las matrices de compartición. Se muestran dos ejemplos, en el primero se observa que no existe interferencia, mientras en el segundo si.

1°.- Considerando la figura de la página 58, se observa que el haz de - 25 dB de la cobertura 2, con el haz - 2 dB de la cobertura 1, no se interfieren y su suma nos da un total de -27 dB, por lo tanto el resultado obtenido es mayor a 25 dB, y como se indico en la página 47 inciso 1, para asegurar que no exista interferencia, el resultado de la suma entre haces debe ser mayor a 25 dB, por lo que se concluye que no existe interferencia entre dichos haces, denotándola en la matriz de compartición con un SI.

2°.- Considerando la figura de la página 59, se observa que el haz de - 4 dB de la cobertura 2, con el haz - 20 dB de la cobertura 1, se interfieren y su suma nos da un total de -24 dB, por lo tanto el resultado obtenido es menor a 25 dB, y como se indico en la página 47 inciso 1, para asegurar que no exista interferencia, el resultado de la suma entre haces debe ser mayor a 25 dB, por lo que se concluye que existe interferencia entre dichos haces, denotándola en la matriz de compartición con un NO.



Ejemplo donde los haces de distintos sistemas no se interfieren.



Ejemplo donde los haces de distintos sistemas se interfieren.

**MATRICES DE COMPARTICION
HACES DEL SOLIDARIDAD**

Inmarsat 2 ó 3 AOR - EAST

	G	NC	NE	SE	SW	NW
SOL	NO	NO	SI	SI	NO	NO

Inmarsat 2 ó 3 AOR - WEST

	G	NC	NE	S	NW
SOL	NO	NO	NO	NO	NO

Inmarsat 2 ó 3 POR - 1

	G	NC	NE	SW	NW
SOL	NO	NO	NO	SI	SI

MARATHON 5

	G	Haz 1	Haz 2	Haz 3	Haz 4	Haz 5	Haz 6	Haz 7
SOL	NO	NO	SI	SI	SI	NO	NO	NO

MARATHON 3

	G	Haz 1	Haz 2	Haz 3	Haz 4	Haz 5	Haz 6	Haz 7
SOL	NO	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI

MARATHON 4

	G	Haz 1	Haz 2	Haz 3	Haz 4	Haz 5	Haz 6	Haz 7
SOL	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO

MSAT

	G	E	EC	WC	W	A-H	S
SOL	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO

CAPITULO IV.

IV.1) APLICACIONES DE LOS SERVICIOS MOVILES POR SATELITE.

Los sistemas móviles por satélite SMS acaban de llegar al mercado de las comunicaciones móviles; se espera que se desarrollen rápidamente, porque pueden captar un gran número de suscriptores para diferentes servicios que no son posibles, o son muy caros, con los medios terrestres.

Así, los SMS pueden proveer un servicio ubicuo (que se encuentra a un mismo tiempo en todas partes) y sin un rango determinado (los suscriptores nunca están fuera del rango del satélite). Las señales son fáciles de ser controladas por un sistema de satélite, ya que, sólo un conmutador nacional es necesario para enrutar las llamadas. Cualquier suscriptor puede hablar sin tener que estar en una población conocida. Por la misma razón, la llamada móvil puede ser regresada a tierra en cualquier población conocida evitando, así, los altos costos de la conexión. En efecto, los sistemas satelitales proveen, casi, una conexión universal, y a lugares que se encuentran a distancias remotas, a un mismo costo, por lo cual, estos sistemas son comparables con los sistemas terrestres que sólo proveen servicios locales en un área, a un costo elevado. Así, los sistemas satelitales tienen avances considerables sobre los terrestres en cuanto a cobertura, rango, señalización, flexibilidad para encaminar las llamadas y eliminar los efectos de propagación.

Desafortunadamente, los satélites modernos no pueden proveer los márgenes necesarios para eliminar los efectos del enlace de línea de vista; tal como los sistemas celulares que pueden proporcionar los márgenes necesarios para servir a las áreas urbanas. Así, los SMS complementan estos sistemas terrestres, distribuyendo los servicios a poblaciones dispersas en áreas rurales y suburbanas, a negociantes y al gobierno que opera en dichas áreas.

Los satélites proveen los mismos servicios que los sistemas terrestres; voz (incluidos el radio teléfono y la expedición de voz), datos, mensajes empaquetados, radiodeterminación y radiolocalización.

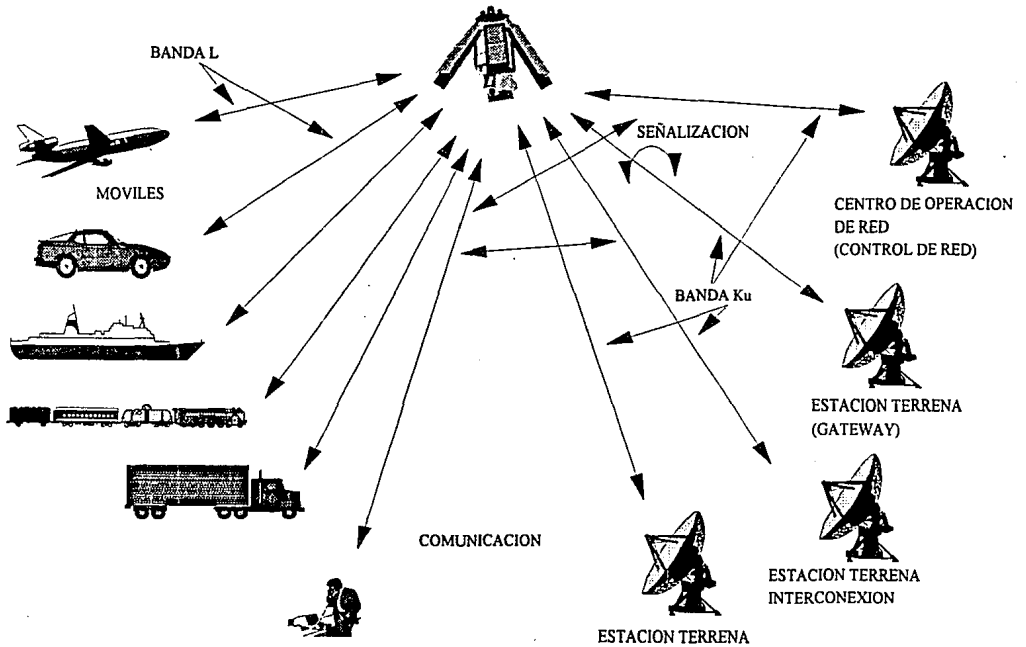
IV.2) Características de operación:

Las comunicaciones móviles son, invariablemente, de un sistema móvil a uno fijo; de tal forma, que los enlaces de alimentación son en banda "C" o "Ku" o, en otras palabras, la mitad del enlace utiliza una de estas bandas. La banda "L" con 34 MHz de ancho de banda, es usada para los enlaces del móvil al satélite. Los enlaces de alimentación simplifican grandemente el diseño del satélite, por la reducción de la ganancia del transpondedor, ya que la mitad del enlace es en las bandas "C" o "Ku" y, en estas bandas, antenas de 3.3 m pueden ser usadas; esta baja ganancia reduce la posibilidad de intermodulación pasiva. Finalmente, el uso de estos enlaces de alimentación simplifican el enrutamiento del satélite, debido a que cada haz en banda "L" es accesado por un haz sencillo en las bandas "C" o "Ku" y viceversa.

Dos servicios genéricos pueden ser provistos por los SMS. Uno es el radio teléfono, el cual requiere una interconexión con las redes públicas conmutadas de teléfonos; en este caso, se puede habilitar la llamada de un vehículo a cualquier teléfono fijo y viceversa. El otro servicio es el radio móvil privado, en el cual la comunicación se da sólo entre un móvil y el despachador. En ambos casos, un gran rango de servicios como voz, datos, posición local y radiolocalización de personas, se pueden proporcionar. También, el radio teléfono puede ser combinado con el radio teléfono privado, resultando una capacidad de comunicación asombrosa.

La figura IV.1 muestra el arreglo de un sistema por radio teléfono, que consiste de un satélite y de varias terminales móviles operando en la banda "L", la central de despacho (fija), que opera en la banda "Ku", está constituida por una o varias estaciones terrenas centrales (gateway), cada una conectada a una central telefónica. Las comunicaciones son entre el móvil y la central de despacho (fija), por medio de la interconexión con la estación terrena, usando canales de RF asignados para el móvil y el gateway¹, dedicada a los canales de señalización. Para estabilizar la llamada y encaminarla, un móvil se enlaza al teléfono de destino y, al mismo tiempo, la condición se cumple para el teléfono receptor. El centro de operación de la red asigna canales de RF, en la banda "L" para los móviles y sus correspondientes canales en banda "Ku", para el gateway que está enlazado al teléfono fijo de destino; este proceso toma el tiempo de una llamada normal. Al momento de tomar el control, el teléfono destino estabiliza la llamada. El centro de operaciones retiene la ruta de la llamada y el tiempo que toma ésta para realizar el cobro. El proceso inverso, es similar.

¹ Ver Apéndice A.



IV.1 CONCEPTO DE OPERACION DEL SERVICIO RADIOTELEFONICO PUBLICO

Hay que hacer notar la importancia del gateway para establecer la conexión con la Central Telefónica, la capacidad y la flexibilidad para enrutar las llamadas, además de la minimización de costos, por lo cual, debe considerarse que se podrían llegar a necesitar muchos de estos equipos.

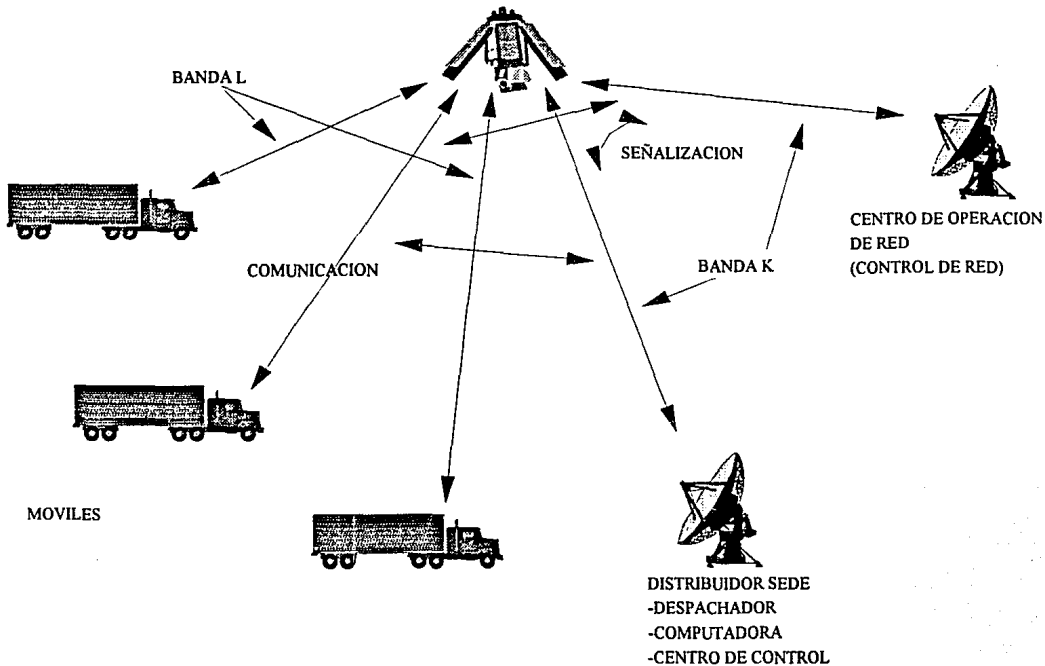
La figura IV.2 muestra un arreglo para un sistema de radio servicio móvil privado, que consta del sistema de satélites, móviles y una estación base (central de despacho) localizada en el mismo lugar de los clientes. La estación base está compuesta por un gateway simplificado (fuera del enrutamiento de la llamada y de la interconexión con la Central Telefónica). La comunicación siempre se da entre el despachador y sus móviles. Dependiendo del requerimiento de las comunicaciones, uno o mas circuitos pueden estar asignados a este sistema privado, usando equipos del tipo "botonera" o arreglos mas complejos, que permiten asignar tiempo al sistema a varios usuarios o para otros propósitos.

Los servicios de voz, datos de cualquier índole, paquetes de mensajes, localización de posición y de personas pueden ser provistos por un radio sencillo desde un vehículo. Si este radio también puede sintonizar la frecuencia de la señal de un radio teléfono, como se describió previamente, el móvil también puede tener la capacidad de procurar este servicio.

IV.2) Ventajas y desventajas.

Las comunicaciones por satélite presentan varias características muy atractivas. En primer lugar, los satélites poseen una enorme capacidad de transmisión. Al trabajar en la banda de los Giga-Hertz, cada satélite es capaz de soportar varios miles de canales telefónicos, lo cual proporciona una cobertura muy amplia, por ejemplo, algunos satélites pueden cubrir todo el territorio Norteamericano con un solo transpondedor. Esta característica tiene un gran atractivo para las empresas que tienen filiales a nivel nacional o mundial.

El costo de una transmisión es independiente de la distancia entre dos estaciones terrestres. Da lo mismo que estén separadas diez ó miles de kilómetros, si son atendidas por el mismo transpondedor, el costo permanece constante, ya que las señales transmitidas desde éste pueden ser captadas por todas las estaciones, sea cual sea la distancia a la que se encuentren.



IV.2 CONCEPTO DE OPERACION DEL SERVICIO RADIOTELEFONICO PRIVADO

Los satélites de comunicaciones permiten concebir redes conmutadas sin necesidad de conmutadores físicos. En tierra, una empresa que desee establecer centros de conmutación tiene que alquilar líneas y unirlos mediante componentes físicos. Por el contrario, cuando dos estaciones terrestres se comunican a través del transpondedor de un satélite, y puesto que ambas emiten y reciben por los mismos canales, cada estación sólo necesita sintonizar la frecuencia del canal de bajada para saber si la transmisión va dirigida a ella. Esta capacidad de difusión conlleva una considerable reducción de costos, en comparación con las redes terrestres que manejan innumerables líneas físicas y equipos de conmutación.

Algunos de los inconvenientes que presentan los satélites son: las condiciones climatológicas adversas, que pueden atenuar la señal durante su recorrido. Además, las señales pueden verse interferidas por otras señales de radio procedentes de sistemas terrestres. Para prevenir estas interferencias, es preciso estudiar cuidadosamente la ubicación de la banda del satélite dentro del espectro de frecuencias. Aunque en el pasado, estas limitaciones del espectro no han supuesto impedimentos a la tecnología, actualmente se están convirtiendo en un problema cuya resolución exigirá la colaboración de todas las naciones.

Si consideramos que los sistemas de comunicación móvil de telefonía celular son ahora una realidad, pero que están limitados a servir únicamente en zonas urbanas, estos sistemas no son una solución económicamente posible para las comunicaciones vehiculares, en áreas remotas o rurales donde la densidad de población es baja. La tecnología por satélite ha alcanzado un punto donde las comunicaciones vehiculares, entre los usuarios móviles y las estaciones base, se pueden dar a un costo relativamente bajo. De esta forma, los sistemas que son capaces de realizar comunicaciones móviles por satélite se complementan con la red celular, para así tener una mejor cobertura. Algunas de las aplicaciones de los SMS son las comunicaciones telefónicas y de datos, que incluyen la transportación (marítima costera, líneas de autobús, autobuses escolares, servicios públicos, etc.); localización y rastreo de vehículos; telefonía en aire y tierra; interacción de datos; etc.

Donde el sistema es una realidad es dentro de los servicios terrestres, marítimos y aeronáuticos, que han sido actualmente reubicados en el espectro de frecuencias en la banda "L". El ancho de banda de las frecuencias para los sistemas móviles, que manejan enlaces marítimos y aéreos, están localizados en las frecuencias que se mencionaron en el Capítulo I.

IV.3) Aplicaciones.

Las normas que rigen actualmente a los sistemas están por definirse, en función de los tipos de portadoras, protocolos, etc.

SERVICIOS MARITIMOS.

a) Norma A de INMARSAT

Está diseñada para utilizarse en buques de gran tamaño, o para aquéllos que necesitan comunicaciones sofisticadas. La estación terrena de barco (ETB) Norma A, utiliza los satélites INMARSAT para proporcionar conexiones hacia las redes de telecomunicaciones nacionales e internacionales.

Cada equipo consta de una terminal télex/teléfono automática, teléfono de teclado y máquina télex; asimismo, se puede instalar equipo adicional para otros servicios como: facsímil, equipo terminal de datos o incluso televisión.

En los últimos años, sin embargo, el tamaño y costo de estas estaciones han disminuido considerablemente. Ahora se están comercializando estaciones terrenas con antenas portátiles que pueden llevarse en una maleta para utilizarse en lugares remotos o para situaciones de emergencia. Por otro lado, se considera que los mercados marítimos nacionales son demasiado pequeños para justificar sistemas de satélites independientes.

b) Norma C de INMARSAT

Es un sistema desarrollado para comunicaciones de datos a baja velocidad, para uso de barcos pesqueros pequeños, yates e incluso lanchas salvavidas. Puede considerarse como un enlace digital de uso general, lo que significa que podría utilizarse para radiodifusión desde un punto a varios destinos.

La introducción de este sistema se basó en el uso de estaciones terrenas de bajo costo, compactas y de aplicación móvil adecuadas para cualquier tipo y tamaño de navío. Este sistema ofrece un servicio de comunicación de datos bidireccionales, con base en el almacenamiento y retransmisión, para conectarse con la Red Internacional de Telex y a una amplia gama de redes terrestres. Además, ofrece un servicio de radiodifusión oceánica conocido como "Llamada de Grupo Ampliada" (EGC), disponible en todas las portadoras de canal común de la Norma C.

A continuación, se muestran algunas características de las terminales Norma C:

Figura de mérito (G/T)	-23 dB/°K
PIRE mínimo	12 dBW
Modulación	BPSK
Velocidad de transmisión	
Costa - Barco	600 Bits/s
Barco - Costa	
Satélites actuales	300 Bits/s
Ancho de banda operacional	
Transmisión	1626.5 - 1646.5 MHz
Recepción	1530.0 - 1545.0 MHz

El sistema permite el uso de receptores de muy baja figura de mérito en las terminales del barco. Esto significa que se puede utilizar una antena omnidireccional no estabilizada, muy simple, y el equipo puede ser sencillo.

El Servicio de Llamada de Grupo Ampliada es un servicio de radiodifusión de mensajes dentro del sistema de comunicaciones Norma C. Los mensajes se envían a una terminal de barco Norma C por proveedores de información con base en tierra utilizando, por ejemplo, un télex. Los mensajes se procesan en las estaciones terrenas costeras y conducen a las estaciones de coordinación de la red para transmisión en el canal común NCS. El direccionamiento de receptores se puede desempeñar con base en:

- 1) Número de identificación individual única.
- 2) Números de identificación de grupo.
- 3) Areas geográficas preasignadas.
- 4) Areas geográficas absolutas.

A bordo del barco, los mensajes se reciben mediante una terminal dedicada, o con equipo adicional incorporado a las estaciones terrenas de barco Norma A, o como parte integral de las terminales Norma C.

c) Norma M de INMARSAT.

La Norma M satisface las necesidades de los usuarios móviles, ya que aún existe la necesidad de una terminal con capacidad de voz para enlaces telefónicos. Emplea una pequeña terminal de peso ligero, totalmente digital, que proporciona telefonía a baja velocidad (4.8 Kbits/s). La terminal está diseñada para aplicaciones marítimas y terrestres.

La Norma M tendrá una ganancia de antena entre 10 y 15 dBi, con una figura de mérito de -13 dB/°K. La transmisión podrá ser digital o con compresión analógica en banda lateral única.

d) Norma B de INMARSAT.

La nueva terminal Norma B es digital y usará eficientemente el sistema de satélites. Ofrecerá servicio telefónico y de telex a 16 Kbits/s, con la alternativa de transmisión a 9.6 Kbits/s y datos a una velocidad de hasta 16 Kbits/s. La terminal es parecida a la Norma A, pero con servicios mejorados.

SISTEMAS AERONAUTICOS

Se han encontrado al menos cuatro tipos de tráfico de comunicaciones, en las que la tecnología de satélite puede revolucionar las comunicaciones aeronáuticas:

a) Servicio de tráfico aéreo.

Comunicaciones para la seguridad de la vida humana, que comprenden las comunicaciones directas con el piloto, o entre la aeronave y el controlador de tráfico aéreo, de tipo telefónico y de datos, incluida la vigilancia. Además, los servicios de información de tráfico aéreo (meteorología, estado de los sistemas, tráfico, etc.) y, tal vez incluso, la información sobre navegación, se consideran como subgrupos del control de tráfico aéreo.

b) Control operacional de la nave.

En este sistema, la compañía explotadora, a través de sus computadoras, ejerce el control de sus aeronaves en cualquier punto en que se encuentren, mediante el intercambio de datos de comportamiento técnico y transmisión de señales vocales que administran la seguridad y gestión de vuelos.

c) Comunicaciones comerciales del operador de la aeronave.

Todos los operadores de aeronaves tienen necesidades de comunicaciones comerciales de tipo general no comprendidas en la categoría de seguridad. Estas comunicaciones comprenden los servicios de reservación de vuelos, de automóviles y de habitaciones de hotel con destino a los pasajeros, etc.

d) Correspondencia pública.

Facilidades que ofrece el operador de la aeronave y que permiten a sus clientes (pasajeros, etc.) acceder a las redes públicas telefónicas y de datos, desde cualquier parte del mundo. Estos servicios comprenden la telefonía, el télex e, incluso, el acceso a los computadores de los sistemas informáticos y bases de datos en la tierra.

Los servicios relacionados con la seguridad de la explotación aérea requieren circuitos de gran confiabilidad. Dentro de lo razonable, han de estar siempre disponibles de manera inmediata para el tráfico prioritario. Son necesarios en todas partes, de forma que hay que tener en cuenta la explotación transpolar, aunque tal vez sea un aspecto de desarrollo futuro.

Si bien los servicios comerciales de las líneas aéreas tienen una prioridad inferior, los usuarios demandarán también su funcionamiento fiable y continuo, aun cuando el sistema se esté recuperando de una avería parcial.

Los servicios de correspondencia pública, aunque no son prioritarios, deberán funcionar de forma regular. No obstante, podrán ser derogados en caso de que la capacidad del servicio sea reducida, para dar prioridad a las comunicaciones relacionadas con la seguridad del vuelo.

SERVICIOS TERRESTRES

La aplicación de sistemas satelitales puede aumentar la capacidad, las posibilidades y la flexibilidad de estos servicios, y de los servicios fijos, particularmente, cuando se trata de cubrir extensas zonas geográficas con un solo sistema; de asegurar las comunicaciones en casos de urgencia o de catástrofes naturales; y de extender el servicio a zonas remotas o aisladas.

Como el sistema terrestre fijo y el móvil por satélite deben ser complementarios, sus características técnicas son compatibles. Ello significa que las características técnicas deben permitir interfuncionamiento de los sistemas en caso necesario y facilitar la compartición de frecuencias en circunstancias mutuamente convenidas.

Es importante considerar que, aunque pueden sentarse aplicaciones y zonas en las que es lógico utilizar las comunicaciones móviles por satélite, la tecnología de estas comunicaciones está sujeta a más limitaciones que las del servicio fijo por satélite o de la radiodifusión directa.

a) Servicio de radiodeterminación vía satélite.(RDSS)

El servicio de radiodeterminación via satélite es la única forma de comunicación móvil que combina comunicaciones digitales bidireccionales, posicionamiento de alta precisión e interconexión digital con redes de comunicaciones. Para estos servicios, cada terminal de usuario móvil, se enlaza con la computadora central por medio de señales conocidas a través de los satélites. Además, puede operar con otros sistemas regionales RDSS para brindar una cobertura global. Dentro de sus aplicaciones se encuentran las operaciones de búsqueda y rescate, monitoreo de rutas y transmisión de datos a: trenes, trailers, barcos, automóviles y aviones.

CAPITULO V

V.1) MERCADO DE LOS SERVICIOS MOVILES POR SATELITE.

Conforme transcurre el tiempo, los servicios móviles por satélite toman mayor fuerza alrededor del mundo, los organismos reguladores y los grandes consorcios se encuentran ocupados en desarrollar los términos y estándares para que estos servicios puedan operar en forma eficiente en el futuro. Pero, hay que tomar ciertos factores en cuenta que son claves para su funcionamiento óptimo; ya que la tecnología fue y está siendo desarrollada en los países industrializados, es natural que sus esfuerzos se enfoquen a las necesidades y requerimientos de ellos mismos.

Conforme este proceso se vaya estructurando, las industrias participantes deberán tener en mente que los países en vías de desarrollo representan un mercado potencial del cual se pueden obtener grandes beneficios. Para que esto se vuelva realidad, es necesario que los proveedores de los servicios comprendan que los requerimientos y las necesidades de estos países, difieren grandemente de sus propias necesidades.

Los países en vías de desarrollo deberán analizar los efectos que la adopción de estos servicios tendrán dentro de sus economías. Por esta razón, deberán crear regulaciones capaces de promover las inversiones requeridas para proveer los servicios móviles por satélite, dentro de las consideraciones y necesidades del propio país.

V.2) DIFERENCIAS ENTRE PAISES INDUSTRIALIZADOS Y PAISES EN VIAS DE DESARROLLO.

Para la introducción de los sistemas móviles por satélite en los países en vías de desarrollo, las firmas industriales y las entidades reguladoras deben considerar los factores contextuales y de instrumentación, que difieren significativamente de éstos con respecto a los países industrializados.

- Factores Contextuales.

a) Necesidades.

Para un conjunto de países, su geografía y especialización económica determinan las necesidades y aplicaciones de las telecomunicaciones. Mientras que en los países industrializados se tiende a una economía especializada dentro de este ramo, los países en vías de desarrollo se especializan en la explotación de recursos naturales, a través de grandes extensiones geográficas y regiones deficientemente comunicadas. Mientras que los primeros demandan una comunicación extensiva, capaz de enviar la información a grandes velocidades, de manera que aumenten la calidad de los servicios, los segundos requieren de enlaces que soporten sus actividades industriales y la distribución de sus mercancías. Un servicio con estas características es el móvil por satélite.

b) Infraestructura.

La infraestructura de los países en vías de desarrollo, se caracteriza por tener una limitada disponibilidad de los recursos elementales para proveer estos servicios, algunos ejemplos son: cobertura del satélite, enlaces terrestres, técnicos e ingenieros calificados. También se debe hacer una distinción entre los servicios públicos y los privados; donde por una lado, los usuarios de servicios privados cuentan con sus redes sofisticadas para la transmisión de voz y datos, mientras que los segundos, se encuentran con deficiencias en sus servicios de telefonía y telegrafía.

c) Objetivos y estrategias.

Uno de los factores que distinguen más a los países en vías de desarrollo son los objetivos y estrategias que siguen, de acuerdo a sus regulaciones particulares. Estos son definidos por las prioridades nacionales. Mientras que en los países industrializados el objetivo principal sigue siendo el desarrollo económico de la nación, la meta en los países en vías de desarrollo ha sido mantener un ambiente de armonía en las áreas socio políticas, para poder tener un crecimiento económico. Esto ha sido alcanzado a través de un gobierno centralizado y por medio de la designación de sectores o empresas estratégicas, como las telecomunicaciones.

La razón de designar a las telecomunicaciones como un sector estratégico incluye tres factores importantes:

- 1) Tener control sobre la infraestructura básica, la cual es vital para la seguridad del país y de la economía.
- 2) Tener un servicio público que provea a toda la población, equitativamente.
- 3) Para el futuro, se avanza hacia una descentralización que se ve reflejada en la política global y los eventos económicos.

d) Restricciones legales.

Las restricciones legales y las regulaciones para las inversiones extranjeras en sectores estratégicos en los países en vías de desarrollo son regidas por razones de soberanía, control y creación de tecnología nacional base. Las restricciones varían considerablemente de país a país, tratando temas de como los consorcios pueden participar en el grado y obligaciones que incluyen la inversión, la integración, la transferencia de tecnología y la reducción de carga al gobierno e instituciones por medio de otro. Deberán remarcarse las condiciones económicas.

Debido a estos factores, el costo relativo de la introducción de los servicios móviles por satélite a los países en vías de desarrollo es mucho mas grande que en los países industrializados.

e) Aplicaciones y beneficios.

En los países industrializados, la aplicación primaria de los servicios móviles por satélite es en el área de administración logística, para las empresas medianas y grandes de camiones. Pero, en los países en vías de desarrollo, este sector de la transportación juega un papel muy importante en la economía nacional, teniéndose principalmente la transportación alternativa de trenes, aeroplanos y medios fluviales. Desafortunadamente, la demanda de transportación no está siendo llenada debido a la falta de recursos para proveer y mantener el servicio, mientras que al mismo tiempo, una gran parte de los vehículos trabajan en los niveles de utilización baja, por razones como la ausencia de comunicaciones apropiadas requeridas para la administración logística del recurso. En México, y hasta apenas recientemente, estos problemas fueron solucionados por medio de las regulaciones que restringen el tránsito de vehículos de transporte a rutas fijas. Esta regulación fue introducida en años anteriores pretendiendo corregir este problema y dar mayor utilización a los vehículos. La introducción de los sistemas móviles por satélite pueden complementar este esfuerzo, proveyendo de una infraestructura de comunicaciones necesaria para coordinar su administración y desarrollar su productividad.

f) Tecnología Cultural.

La cultura tecnológica de los usuarios potenciales en los países en vías de desarrollo no es sofisticada, considerando las comunicaciones telefónicas y de computadoras que se están integrando actualmente. Es por esto que los servicios móviles por satélite representan un salto importante para los usuarios de los países en vías de desarrollo, en los términos del nivel de sofisticación de la tecnología que es utilizada para manejar las nuevas oportunidades de integración de los SMS para su operación.

- Factores de implantación.

a) Proceso para obtener los permisos requeridos.

Los procesos para obtener los permisos requeridos para operar y explotar el servicio móvil por satélite en los países en vías de desarrollo es complejo, ya que son muchas las autoridades involucradas en las decisiones que se toman. A través del proceso, las autoridades consideran aspectos técnicos, como estándares, atribución de bandas y problemas de interferencia, otros puntos conciernen a la viabilidad económica y social del proyecto, quién es el proveedor del proyecto, su nacionalidad, su experiencia y, además, los efectos en los diferentes sectores de la economía como, por ejemplo, el costo para el país en términos de su reserva monetaria

b) Configuración de los sistemas.

La configuración de los SMS para los países en vías de desarrollo deben considerar, fundamentalmente, que las comunicaciones por satélite representan una herramienta de productividad para sus economías, para las industrias manufactureras y extractivas, mientras que para los países Industrializados, además de incrementar su productividad, el servicio móvil aumenta la calidad de los servicios jugando un importante efecto en la competitividad de las firmas, es decir, que este servicio está orientado económicamente.

c) Comprendiendo el mercado.

Comprender el mercado, su segmentación, actitud para la economía, cultura económica, el grado de venta e integración del equipo, razones esperadas de falla que determinan los servicios, manutención de los gastos, entre otros, son puntos cruciales en el éxito de la implementación e idiosincrasia singular para los países en vías de desarrollo.

d) Objeciones al sistema.

Las objeciones para la implementación de los SMS en los países en vías de desarrollo pueden venir de diversas direcciones inesperadas, principalmente, porque el tratamiento de esta nueva tecnología significa entrar en la posición del mercado tradicional. Influencias de consorcios bien establecidos involucrados en las comunicaciones, transporte, producción, contratistas de transportación, etc. pueden tener oposición a la introducción de una nueva herramienta, como los SMS, que pueden llegar a tener algunos efectos adversos en el manejo del mercado.

V.3) Tecnología de los Sistemas Móviles por Satélite en México.

La Secretaría de Comunicaciones y Transporte manifestó que los satélites "Solidaridad" representan la vanguardia en materia tecnológica, colocando a México entre las primeras seis naciones que dispondrán de instalaciones espaciales, sumamente modernas, para satisfacer las más exigentes necesidades de telecomunicación: transmisión de señales digitales de voz, datos, audio y video, así como el servicio de comunicaciones móviles.

- Satélites hechos en México.

a) SATEX.

Hasta ahora México, al igual que otros países en vías de desarrollo, ha dependido de los países industrializados en un área estratégica como es la tecnología. Conscientes de ello, varios grupos de investigadores mexicanos realizan esfuerzos para brindar al país, autosuficiencia en este ramo. Dos de esos grupos trabajan concretamente en el diseño y fabricación de satélites domésticos, que están por entrar en su fase de lanzamiento.

El primero de éstos pertenece a la familia de satélites experimentales SATEX, proyecto institucional en el cual participan, entre otros organismos: el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (coordinador técnico del proyecto), el Departamento de Microelectrónica de la Universidad Autónoma de Puebla, el Instituto Politécnico Nacional, el Centro de Investigaciones Científicas y de Educación Superior de Ensenada, el Instituto Mexicano de Comunicaciones (dirigente del proyecto), etc.

Los objetivos generales del proyecto son alcanzar cierta autosuficiencia nacional en ingeniería aeroespacial, y crear las condiciones para diseñar y fabricar en el país el mayor número posible de subsistemas de satélites, entre los que ya se trabajan: 1) estructura, con base principalmente en materiales compuestos; 2) control a bordo, efectuado por una computadora tolerante a fallas; 3) enlaces de subida y bajada; 4) potencia eléctrica, incluyendo colectores solares, baterías y circuitos de carga; 5) control magnético de orientación; y 6) estación terrena de control.

El SATEX consta de subsistemas electrónicos que le permiten operar, de forma automática o asistida, desde una o varias estaciones de control ubicadas en tierra: la computadora antes mencionada es la encargada de supervisar y controlar todas las funciones del satélite.

El SATEX se usará como una plataforma de experimentación con equipo de comunicaciones directivo. Los estudios sobre propagación atmosférica de carga útil servirán para el diseño de futuros satélites.

El segmento terrestre consistirá en tres tipos de estaciones: una estación maestra en el D.F. y otra remota (en Ensenada), para supervisión y control satelital; así como una estación receptora móvil con antena directiva.

b) UNAMSAT.

El diseño y construcción del segundo satélite doméstico que será puesto en órbita está a cargo del Programa Universitario de Investigación y Desarrollo Espacial (PUIDE) de la UNAM.

Se trata del UNAMSAT-1, cuyos objetivos son básicamente dos:

1) Permitir el establecimiento de comunicaciones digitales, a fin de obtener información útil acerca del comportamiento de las mareas en diversos puntos de nuestros mares territoriales y de distintos conos volcánicos de interés para investigadores del Instituto de Geofísica de la UNAM.

2) Posibilitar el desarrollo de proyectos de investigación científica de frontera, concretamente, en torno al conocimiento de la relación entre los meteoritos y la materia oscura del universo, ya que logra captar quince veces más atmósfera de la que puede observarse desde la tierra y así poder obtener información más rápidamente.

"Morelos", "Solidaridad", "SATEX", "UNAMSAT-1". Cuatro pasos de México hacia la autosuficiencia en tecnología espacial, hacia la plena integración de la llamada aldea global.

CONCLUSIONES

A lo largo de este trabajo hemos podido analizar los diferentes aspectos que comprende un sistema de comunicaciones móviles. El estudio incluye los diversos puntos de vista que se requieren en un trabajo de esta naturaleza, como son el aspecto técnico, el económico, así como el humano.

El analizar los documentos de las conferencias y reuniones que se han tenido a nivel mundial, para poder alojar los nuevos sistemas, nos dejó una grata experiencia, ya que nos dimos cuenta de que en México se está tratando de crear una infraestructura tecnológica que ha tenido una gran trascendencia internacional. Conforme avanzamos en el desarrollo de los temas, pudimos aplicar nuestros conocimientos para realizar el programa de cálculo de enlaces, que demuestra nuestro esfuerzo por tratar de incorporar nuevas tecnologías a las labores más difíciles, como es el cálculo de un sistema móvil por satélite, ya que la computadora es tan sólo una herramienta auxiliar que nos permite repetir ciertos mecanismos para evitar la interferencia perjudicial entre los sistemas satelitales.

Este programa tiene como base los diferentes criterios de interferencia que se discutieron en las asambleas y conferencias que se llevaron a cabo entre los países involucrados en el proceso de compartición del espectro. Asimismo, al haber adquirido los conocimientos sobre estos criterios, pudimos realizar los escenarios de compartición que, tal vez, ayuden a llegar a una distribución equitativa del espectro radioeléctrico de estos nuevos sistemas.

Las especificaciones técnicas que van a regir a los SMS en México resultan irreales, ya que, por un lado, no se han terminado de definir y, por el otro, las pruebas de los equipos se han hecho en otros países, y hay que tener en mente que nuestro país cuenta con una gran variedad de climas y zonas geográficas que resultan dañinas para los enlaces, por lo cual, hay que hacer un análisis a conciencia de las pruebas que se van a realizar con estos equipos.

Como vimos en el trabajo, las necesidades que se presentan en nuestro país son muy diferentes a las de los países desarrollados, por lo cual, se tendrá que hacer un esfuerzo adicional para capacitar gente en el uso de estos nuevos recursos, debido a que presentan una solución muy optimista y viable para las comunicaciones rurales.

Debido a todo lo anterior, concluimos que :

- Los sistemas móviles por satélite son una opción muy importante para crear redes de amplia cobertura en zonas desprovistas de estos servicios.
- Se tendrán que hacer ajustes en el cálculo de enlaces, ya que muchos de los datos fueron arbitrarios, sin tomarse en cuenta las características climatológicas y geográficas de nuestro país.
- Se requiere crear una infraestructura sólida en el área de capacitación, para el uso de estos nuevos equipos.
- Las reuniones que se lleven a cabo, más adelante, requieren del esfuerzo conjunto de todos los países involucrados para llegar a una compartición equitativa del espectro, tal vez dejando a un lado los intereses particulares.
- Para nuestro país, estos nuevos sistemas pueden ser de gran ayuda, ya que se cuenta con una cantidad considerable de servicios en donde se pueden aplicar (aéreo, marítimo y móvil)
- Se pueden crear redes de amplia cobertura, ya que se cuenta con servicios privados y públicos para el abastecimiento de comunicaciones como son las redes públicas de la telefonía celular, de radiocomunicación especializada de flotillas (Trunking) y de radiolocalización de personas (Paging).

APENDICE A

Espectro de frecuencias del satélite:

Banda	Rango (GHz)
L	1 -2
S	2-4
C	4-8
X	8-12
Ku	12-18
K	18-27
Ka	27-40
Milimétricas	40-300

Decibel : La unidad de medición para los niveles de intensidad se denomina Bel, y se define la intensidad I como :

$$B = \text{Log} \frac{I}{I_0}$$

Esta escala se hace con respecto a la intensidad umbral del oído humano, $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$.

Sin embargo, el bel resulta una unidad muy grande, por lo que comúnmente se emplea el decibel (dB). (1 bel = 10 deciBeles). El nivel de intensidad de I está dado entonces por :

$$\text{dB} = 10 \text{ Log} \frac{I}{I_0}$$

G/T (Figura de mérito): Relación de ganancia a temperatura de ruido (factor de calidad).

PSK (Phase shift keying): Modulación con cambio o conmutación de fase.

QPSK (Quaternary phase shift keying): Modulación PSK de cuatro fases.

TCM (Treallis Code Modulation): Modulación por codificación entrelazada. Es una nueva técnica para modular, a través del entrelazado de señales.

EIRP (Effective isotropic radiated power) : El PIRE es, simplemente, la potencia generada por el amplificador de alta potencia que alimenta a la antena.

Banda de guarda : La banda de guarda es la distancia que queda entre un filtro y otro, es decir, cada filtro permite el paso de ciertas frecuencias, y para evitar el traslape de señales, se deja un rango de frecuencias desocupado entre un filtro y otro, a esto se le conoce como banda de guarda.

Decibel watt (dBW) : Es una relación idéntica al decibel , pero referida a una unidad de potencia. Por ejemplo :

$$dB = 10 \text{ Log } \frac{P}{1mW}$$

donde la referencia es 1mW y P es la potencia.

BER(Bit error rate) : Probabilidad de error en un bit.

FEC(Forward error correccion) : Corrección de error hacia adelante

Ancho de banda asignado : Es la diferencia entre la frecuencia superior y la inferior, siendo el resultado el ancho de banda asignado.

Ancho de banda ocupado : Es la cantidad real que se va a ocupar del ancho de banda asignado, es decir, el rango en el cual se va a trabajar con información.

Transpondedor : A la trayectoria completa de cada repetidor, comprendiendo todos sus equipos, desde la salida de la antena receptora hasta la entrada de la antena transmisora, se le conoce como transpondedor.

RF : Radio frecuencia. Frecuencias utilizadas para la transmisión de radio.

AORE(Atlantic Ocean Region East) : Región Este del Océano Atlántico.

AORW(Atlantic Ocean Region West) : Región Oeste del Océano Atlántico.

POR(Pacific Ocean Region) : Región del Océano Pacífico.

Gateway : El término de compuerta es usado para describir una entidad (una máquina o software), la cual no sólo muestra capacidad para enrutar, sino que puede actuar como conversor de protocolos o facilitar mapas (también llamado conversor de funciones). Por ejemplo, puede relevar el tráfico y proveer una conversión entre dos diferentes tipos de transferencia de datos.

APENDICE B

Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítima (SMSMM).

Dada la seguridad que proporcionan las comunicaciones por satélite, la Organización Marítima Internacional (OMI) va a sustituir el actual sistema de socorro y seguridad, por el llamado Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítima.

Las funciones de comunicaciones definidas por la OMI que deberán realizar todos los barcos son:

- Llamadas de alerta: barco-costera, costera-barco, barco-barco.
- Coordinación de socorro y salvamento.
- Comunicaciones de puente de mando a puente de mando.
- Señales de localización.
- Información sobre seguridad en el mar.
- Radiocomunicación en general.

Para cumplir con estos requisitos, la OMI definió los equipos que se deben de llevar a bordo, dependiendo de la zona marítima de operación. Todos los barcos de más de 300 TDB¹ deberán contar con un juego, como mínimo, del siguiente equipo de comunicaciones:

- Instalación VHF capaz de transmitir y recibir llamadas de alerta selectiva digital en el canal 70 y radiotelefonía, en los canales 6,13 y 16.
- Equipo capaz de mantener alerta continua para llamadas selectivas digitales en el canal 70 VHF.
- Radar transpondedor que opere en la banda de 9 GHz.
- Receptor NAVTEX, capaz de recibir información sobre la seguridad marítima, si el barco navega dentro de la zona donde se facilite NAVTEX.

¹ Toneladas brutas.

- Radiobalizas de localización de siniestros por satélite (RBLSS) en libre flotación, capaces de transmitir llamadas de alerta a través de los satélites COSPAS/SARSAT, en órbita polar y transmitiendo a 406 MHz.

- Equipo que puede ser activado manualmente para la transmisión de una llamada de socorro por satélite, si la RBLSS no puede activarse en forma manual , además de automática.

APENDICE C

SISTEMA DE SATELITES SOLIDARIDAD SERVICIO MOVIL MARITIMO

PORTADORA: SMM-D0.6	NOMINAL	DESVANECIMIENTO
Portadora Digital	SI	SI
Velocidad de Información (Eb/No)	0.60	0.60
(C/No) umbral	8.20	8.20
Ancho de Banda Asignado	35.98	35.98
Ancho de Banda Ocupado	2.50	2.50
Modulación	0.75	0.75
F.E.C.	QPSK	QPSK
B.E.R.	0.5	0.5
	10 ⁻⁵	10 ⁻⁵

ENLACE ASCENDENTE

		FORWARD	RETURN	FORWARD	RETURN
Diam. Antena Tx	m	2.40	0.12	2.40	0.12
Ganancia Antena Tx	dBi	48.48	4.00	48.48	4.00
Pérdidas esp. libre	dB	206.80	188.00	206.80	188.00
Pérdidas atmos.	dB	0.00	0.00	0.00	0.00
PIRE E/T Tx	dBw	34.83	5.30	34.83	5.30
G/T satélite	dB/K	6.42	-1.50	6.42	-1.50
Pérdidas desv. (C/No)	dB-Hz	0.00	0.00	0.00	1.65
(C/N)	dB	63.05	44.40	63.05	42.75
(C/I) sat ady	dB	34.30	15.65	34.30	14.00
(C/I) intermod	dB	30.00	21.10	30.00	19.45
(C/I) X pol	dB	30.90	17.30	30.90	15.65
C/(N+I) asc	dB	100.00	25.00	100.00	23.35
	dB	26.61	12.46	26.61	10.81

ENLACE DESCENDENTE

Diámetro Antena Rx	m	0.13	2.40	0.13	2.40
Ganancia Antena Rx	dBi	4.00	46.96	4.00	46.96
Pérdidas esp. libre	dB	187.40	205.30	187.40	205.30
Pérdidas atmos.	dB	0.00	0.00	0.00	0.00
PIRE portadora sat.	dBw	18.85	-6.59	18.85	-8.24
G/T E/T Rx	dB/K	-22.00	24.72	-22.00	24.72
Pérdidas desv. (C/No)	dB	0.00	0.00	1.65	0.00
(C/N)	dB	38.05	41.43	36.40	39.78
(C/I) sat ady	dB	9.30	12.68	7.65	11.03
(C/I) intermod	dB	21.10	30.00	19.45	28.35
(C/I) X pol	dB	30.87	17.56	30.87	15.91
C/(N+I) desc	dB	25.00	100.00	25.00	98.35
C/(N+I) total	dB	8.89	11.40	7.28	9.74
C/(No+Io) total	dB	8.81	8.88	7.23	7.23
Factor de Calidad	dB	37.56	37.64	35.98	35.98
% Interferencia	%	1.58	1.65	0.00	0.00
	%	5.91	6.00	6.00	6.00

SISTEMA DE SATELITES SOLIDARIDAD SERVICIO MOVIL AERONAUTICO

PORTADORA: SMA-A0.3		NOMINAL		DESVANECIMIENTO	
Portadora Digital		SI		SI	
Velocidad de Información		0.30		0.30	
(Eb/No)		8.20		8.20	
(C/No) umbral		32.97		32.97	
Ancho de Banda Asignado		2.50		2.50	
Ancho de Banda Ocupado		0.75		0.75	
Modulación		BPSK		BPSK	
F.E.C.		0.5		0.5	
B.E.R.		10 ⁻⁵		10 ⁻⁵	
ENLACE ASCENDENTE					
		FORWARD	RETURN	FORWARD	RETURN
Diam. Antena Tx	m	2.40	0.12	2.40	0.12
Ganancia Antena Tx	dBi	48.48	4.00	48.48	4.00
Pérdidas esp. libre	dB	206.80	188.00	206.80	188.00
Pérdidas atmos.	dB	0.00	0.00	0.00	0.00
PIRE E/T Tx	dBw	31.32	1.52	31.32	1.52
G/T satélite	dB/K	6.42	-1.50	6.42	-1.50
Pérdidas desv.	dB	0.00	0.00	0.00	1.20
(C/No)	dB-Hz	59.54	40.61	59.54	39.41
(C/N)	dB	30.79	11.86	30.79	10.66
(C/I) sat ady	dB	30.00	17.64	30.00	16.44
(C/I) intermod	dB	30.10	15.30	30.10	14.10
(C/I) X pol	dB	100.00	25.00	100.00	23.80
C/(N+I) asc	dB	25.51	9.39	25.51	8.19
ENLACE DESCENDENTE					
Diámetro Antena Rx	m	0.13	2.40	0.13	2.40
Ganancia Antena Rx	dBi	4.00	46.96	4.00	46.96
Pérdidas esp. libre	dB	187.40	205.30	187.40	205.30
Pérdidas atmos.	dB	0.00	0.00	0.00	0.00
PIRE portadora sat.	dBw	15.34	-10.38	15.34	-11.57
G/T E/T Rx	dB/K	-22.00	24.72	-22.00	24.72
Pérdidas desv.	dB	0.00	0.00	1.20	0.00
(C/No)	dB	34.54	37.64	33.34	36.44
(C/N)	dB	5.79	8.89	4.59	7.69
(C/I) sat ady	dB	17.64	30.00	16.44	28.80
(C/I) intermod	dB	27.36	13.77	27.36	12.75
(C/I) X pol	dB	25.00	100.00	25.00	98.80
C/(N+I) desc	dB	5.44	7.65	4.26	6.45
C/(N+I) total	dB	5.40	5.42	4.22	4.22
C/(No+Io) total	dB	34.15	34.17	32.97	32.97
Factor de Calidad	dB	1.17	1.20	0.00	0.00
% Interferencia	%	5.97	6.00	6.00	6.00

SISTEMA DE SATELITES SOLIDARIDAD SERVICIO MOVIL TERRESTRE

PORTADORA: SM-VDR		NOMINAL	DESVANECIMIENTO
Portadora Digital		SI	SI
Velocidad de Información (Eb/No)		4.80	4.80
(C/No) umbral		9.50	9.50
Ancho de Banda Asignado		46.31	46.31
Ancho de Banda Ocupado		5.00	5.00
Modulación		3.00	3.00
F.E.C.		TCM/QPSK	TCM/QPSK
B.E.R.		0.67	0.67
		10^-3	10^-3

ENLACE ASCENDENTE		FORWARD	RETURN	FORWARD	RETURN
Diam. Antena Tx	m	2.40	0.88	2.40	0.88
Ganancia Antena Tx	dBi	48.48	21.00	48.48	21.00
Pérdidas esp. libre	dB	206.80	188.00	206.80	188.00
Pérdidas atmos.	dB	0.00	0.00	0.00	0.00
PIRE E/T Tx	dBw	28.48	26.41	28.48	26.41
G/T satélite	dB/K	6.42	-1.50	6.42	-1.50
Pérdidas desv. (C/No)	dB-Hz	0.00	0.00	0.00	1.00
(C/N)	dB	56.69	65.51	56.69	64.51
(C/I) sat ady	dB	21.92	30.74	21.92	29.74
(C/I) intermod	dB	30.00	24.76	30.00	23.76
(C/I) X pol	dB	32.00	25.00	32.00	24.00
C/(N+I) asc	dB	100.00	25.00	100.00	24.00
	dB	20.94	19.78	20.94	18.78

ENLACE DESCENDENTE		FORWARD	RETURN	FORWARD	RETURN
Diámetro Antena Rx	m	0.94	2.40	0.94	2.40
Ganancia Antena Rx	dBi	21.00	46.96	21.00	46.96
Pérdidas esp. libre	dB	187.40	205.30	187.40	205.30
Pérdidas atmos.	dB	0.00	0.00	0.00	0.00
PIRE portadora sat.	dBw	12.49	1.52	12.49	0.52
G/T E/T Rx	dB/K	-4.00	24.72	-4.00	24.72
Pérdidas desv. (C/No)	dB	0.00	0.00	1.00	0.00
(C/N)	dB	49.69	49.54	48.69	48.54
(C/N)	dB	14.92	14.77	13.92	13.77
(C/I) sat ady	dB	24.76	30.00	23.76	29.00
(C/I) intermod	dB	18.49	19.65	18.49	18.65
(C/I) X pol	dB	25.00	100.00	25.00	99.00
C/(N+I) desc	dB	12.77	13.45	12.07	12.45
C/(N+I) total	dB	12.15	12.54	11.54	11.54
C/(No+Io) total	dB	46.93	47.31	46.32	46.31
Factor de Calidad	dB	0.61	1.00	0.00	0.00
% Interferencia	%	5.49	6.00	6.00	6.00

DATOS DE SATELITE

		FORWARD	RETURN	FORWARD	RETURN
D.F.S	dBw/m ²	-100.55	-106.00	-100.55	-106.00
G1	dB	44.52	25.78	44.52	25.78
I.B.O.	dB	7.50	0.00	7.50	0.00
O.B.O.	dB	5.10	0.00	5.10	0.00
PIRE sat.	dBw	50.70	45.50	50.70	45.50
ATP	dB	10.00	6.00	10.00	6.00

APENDICE D.

El programa para cálculo de enlaces, se hizo con la finalidad de contar con una herramienta auxiliar para facilitar la labor de las personas que se dedican a realizar estos cálculos tan complejos. Como hemos podido ver a lo largo del trabajo, son mecanismos repetitivos, por lo tanto podíamos desarrollar este programa y nos ayudo a nosotros a comprender como se lleva a cabo esta tarea, y lo que representa cada una de las fórmulas que se utilizan.

El programa de cálculo de enlaces se divide en 4 módulos que son:

- Catálogos
- Enlaces
- Reportes
- Utilerias.

Cada uno de estos módulos a su vez se subdivide, a continuación explicamos para que sirve cada una de las opciones:

a) Catálogos.

- Satélites. Esta opción nos ayuda a capturar los datos necesarios de los satélites, como son su nombre, su posición orbital, etc.
- Portadoras. En este módulo recopilamos la información referente a las características de las portadoras, como son: tipo de modulación, nombre, clase, velocidad de transmisión, ancho de banda asignado y ocupado, etc.
- Antenas. En esta parte se guarda toda la información referente a las antenas, por ejemplo: si es de transmisión o recepción, diámetro, ganancia, etc.
- Bandas. Con esta opción podemos cargar los datos concernientes a las bandas de frecuencias (L, C, Ku).
- Usuarios. Como todo sistema debe tener niveles de acceso, en este módulo nosotros definimos los usuarios que pueden acceder al sistema, los datos que se maneja son los siguientes: nombre, área, sucursal, password, etc.

b) Enlaces.

- Ascendente. Con este módulo capturamos toda la información referente al enlace, el tipo de antena, portadora, banda de frecuencia, etc. En realidad esta opción reúne toda la información antes capturada, para poder manipular los datos y poder determinar las características del enlace.
- Descendente. La función es la misma que el punto anterior, solo que ahora para realizar el cálculo del enlace de bajada.

c) Reportes.

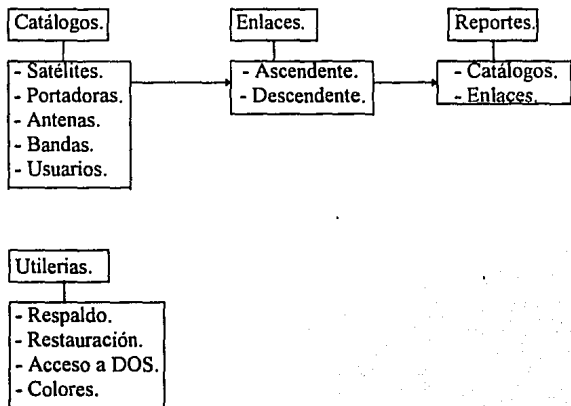
- Catálogos. Con esta opción podemos obtener la información referente a los catálogos en forma impresa o en pantalla.
- Enlaces. Con este módulo podemos obtener la información de los enlaces, definiendo si va a ser terrestre, marítimo o aéreo.

d) Utilerías.

- Respaldo. Esta opción nos permite crear un respaldo de nuestros datos y poder tener una copia de los datos.
- Restauración. Nos permite cargar en la máquina datos que anteriormente se respaldaron.
- Acceso a DOS. Nos permite en un momento dado acceder al sistema operativo, sin tener que abandonar el sistema.
- Colores. Con este módulo podemos cambiar los colores de las pantallas, para tener un ambiente personalizado sobre el sistema.

Como hemos visto el manejo del sistema es muy sencillo, y nos permite tener control sobre todos los datos que estemos manejando. A continuación se muestra un diagrama de flujo para entender mejor su funcionamiento.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA.



Bibliografía.

Black Uyles, "Redes de computadoras"
Editorial Macrobite, Primera Edición, México 1987

Gama Meneses, Miguel
"Sistemas móviles vía satélite, curso internacional, ingeniería de transmisión digital"
Telecomm, México 1991.

Grob, "Circuitos electrónicos y sus aplicaciones".
Editorial McGraw Hill, Primera Edición, México 1983.

Ha, Tri T, "Digital Satellite Communications"
Editorial McGraw Hill, Segunda Edición, Singapur 1990.
Colección "Serie de Comunicaciones".

Kiesling, D. John, "Land Mobile Satellite Systems", Publicación de la IEEE.
Spectrum, julio 1990 Vol 78 Número 7.

Kumar, A.
"Vehicle terminal antennas for mobile satellite applications", Publicación de la IEEE.
Spectrum, 1990.

Lara Rodríguez Domingo, Muñoz Rodríguez David y Rosas García Salvador.
"Sistemas de comunicación móvil, una introducción".
Editorial Alfaomega, Primera Edición, México.

Neri Vela Rodolfo, "Satélites de comunicaciones"
Editorial McGraw Hill, Primera Edición, México 1989.

Publicación del CONACYT, "Del Sputnik a las comunicaciones móviles sin fronteras"
Información, Científica y Tecnológica, febrero 1993 Vol 14 Número 197.

Publicación del ETSI Telecomunicación.
"Nuevos servicios móviles". Programa de postgrado en sistemas y redes de comunicación.
Curso : 3T17-NSM. Universidad Politécnica de Madrid.

Publicación de la IEEE, "Warc's last act ?".
Spectrum, febrero de 1992.

Publicación de Telecomm.
"Segunda generación de satélites Mexicanos, características, cobertura y servicios. Resumen ejecutivo".
México, 1993.

Publicación de Telecomm y SCT.
"Servicios móviles del sistema Solidaridad".
México, octubre de 1993.

Publicación de Telecomm y SCT.
"Transición de servicios del satélite Morelos I al satélite Solidaridad I".
México, junio de 1993.

Wilson J.D., "Física con aplicaciones"
Editorial Interamericana, Primera edición, México 1989.