

23
2ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

ANALISIS DEL SERVICIO DE RADIO DETERMINACION
POR SATELITE Y SU IMPLEMENTACION EN MEXICO.

T E S I S

Que para obtener el Titulo de
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

p r e s e n t a n

JUAN CARLOS BETANCOURT RIVERA

JORGE HIDALGO MEDINA

VICTOR MANUEL RAMOS VARGAS

ALVARO VAZQUEZ JIMENEZ

JORGE EDUARDO ZAPATA ACOSTA



Director de Tesis:
ING. CARLOS GIRON GARCIA

México, D. F.

1992

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis 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.

INDICE

INTRODUCCION	1
CAPITULO 1 ASPECTOS GENERALES DE LAS COMUNICACIONES POR SATELITE.	3
1.1 Tipos de Servicio que Ofrece un Sistema de Satélites.	3
1.2 Servicio Móvil por Satélite.	3
1.2.1 Marco Histórico.	5
1.2.2 Servicio Móvil Terrestre por Satélite.	6
1.3 Infraestructura de un Sistema de Comunicaciones por Satélite.	8
1.3.1 Segmento Espacial.	8
1.3.2 Segmento Terrestre.	9
1.4 Parámetros de un Enlace por Satélite.	11
1.4.1 Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE).	11
1.4.2 Densidad de Flujo de Potencia en Saturación del Satélite.	11
1.4.3 Temperatura de Ruido del Sistema.	11
1.4.4 Figura de Mérito (G/T).	13
1.4.5 Back-Off.	14
1.4.6 Polarización.	14
1.4.7 Capacidad de la Portadora.	16
1.5 Técnicas de Acceso al Satélite.	16
1.5.1 Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA).	17
1.5.2 Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA).	19
1.5.3 Acceso Múltiple por División de Código (CDMA).	20
1.5.4 Acceso Múltiple por División de Espacio (SDMA).	23
CAPITULO 2 CARACTERISTICAS DEL SISTEMA DE RADIODETERMINACION POR SATELITE (RDSS).	25
2.1 Orígenes del RDSS	25
2.1.1 Antecedentes del RDSS.	25
2.1.2 Sistemas Actuales.	28
2.1.3 El RDSS como Sistema Alternativo.	32
2.2 Servicio de Radiodeterminación por Satélite.	33

2.2.1	Determinación de la Posición.	35
2.2.2	Mensajes Bidireccionales.	39
2.2.3	Frecuencias Utilizadas por el Sistema de Banda L.	39
2.3	Puntos Importantes del RDSS.	41
2.3.1	Rango.	41
2.3.2	Rastreo.	42
2.3.3	Protocolos de Acceso Múltiple al Satélite.	43
2.3.4	Técnicas de Corrección de Errores.	45
CAPITULO 3 ELEMENTOS Y PRINCIPIOS DE OPERACION DEL RDSS.		47
3.1	Estación Terrena Central.	47
3.1.1	Configuración.	47
3.1.2	Funcionamiento.	48
3.1.3	Descripción.	51
3.2	Centrales de Despacho.	56
3.3	Terminales Remotas en Unidades Móviles.	57
3.3.1	Configuración.	57
3.3.2	Funcionamiento.	57
3.3.3	Descripción.	59
3.4	Segmento Espacial.	61
3.4.1	Descripción.	61
3.5	Principio de Operación del RDSS.	62
3.5.1	Codificación y Modulación en el Enlace de Ida.	62
3.5.2	Codificación y Modulación en el Enlace de Retorno.	62
3.5.3	Codificación y Modulación en el Enlace de Posicionamiento.	63
CAPITULO 4 PARAMETROS DE DISEÑO DEL RDSS.		66
4.1	Relación Portadora a Densidad de Ruido Ascendente.	66
4.2	Relación Portadora a Densidad de Ruido Descendente.	68
4.3	Relación Portadora a Densidad de Ruido de Intermodulación.	70
4.4	Relación Portadora a Densidad de Ruido Total.	72
4.4.1	Relación de Energía por Bit a Densidad de Ruido.	73
4.5	Ecuaciones para Complementar un Cálculo de Enlace.	75
4.5.1	Distancia de la Estación Terrena al Satélite.	76
4.5.2	Angulos de Elevación y Acimut.	76

4.5.3 Ancho de Banda Ocupado por la Señal en el Transpondedor.	77
4.5.4 Pérdidas Diversas.	78
4.6 Potencia de Salida del HPA de la Estación Terrena Transmisora.	78
4.7 Ejemplo de Diseño del RDSS.	80
4.7.1 Datos.	82
4.7.2 Cálculo de las Distancias y Angulos de Elevación y Acimut.	85
4.7.3 Enlace de Ida (Central-Móvil).	85
4.7.4 Resultados Completos para el Enlace México-Tijuana.	92
4.7.5 Análisis de Resultados.	101
CAPITULO 5 CONSIDERACIONES DE IMPLEMENTACION DEL RDSS EN MEXICO	103
5.1 Permisos para la Instalación y Operación de Estaciones Terrenas.	103
5.1.1 Disposiciones Generales.	103
5.1.2 Tipos de Permisos.	103
5.1.3 Instalación y Operación.	103
5.2 Estudio de Mercado.	104
5.2.1 Metodología.	104
5.2.2 Estadísticas.	106
5.2.3 Resultados.	109
5.3 Aplicaciones del RDSS.	113
5.3.1 Transporte Carretero.	115
5.3.2 Transporte Ferroviario.	116
5.3.3 Transporte Aéreo.	118
5.3.4 Transporte Marítimo.	118
5.3.5 Aplicaciones Especiales.	119
5.3.6 Aplicaciones a Futuro.	120
CONCLUSIONES.	121
APENDICE A.	123
APENDECE B.	127
APENDICE C.	181
BIBLIOGRAFIA.	185

INTRODUCCION

Los sistemas de comunicaciones por satélites geoestacionarios han evolucionado enormemente desde la aparición del primer satélite comercial de INTELSAT (Early Bird) en 1965. Actualmente se están desarrollando diversos sistemas de comunicación para servicios móviles con satélites de este tipo, a diferencia de los primeros sistemas móviles por satélite, que utilizaban satélites de órbitas elípticas o bajas.

El Servicio de Radiodeterminación por Satélite RDSS (Siglas provenientes del inglés Radio Determination Satellite Service), es un ejemplo de los nuevos sistemas móviles. Este sistema está diseñado para determinar la posición de vehículos (terrestres, marítimos y aéreos) y proporcionar mensajes bidireccionales entre éstos y sus centrales de despacho.

La presente tesis hace un análisis del RDSS y propone un diseño para México, utilizando el Sistema de Satélites Nacionales Morelos.

Este trabajo está constituido de cinco capítulos, los tres primeros tratan el análisis del RDSS; mientras que los restantes dos contienen el diseño para México.

En el capítulo 1 se establecen las diferencias entre el Servicio Fijo por Satélite y el Servicio Móvil por Satélite, además de definir los principales parámetros y técnicas utilizadas en un enlace de comunicaciones por satélite.

El capítulo 2 presenta una reseña histórica de las comunicaciones móviles por satélite y plantea las necesidades y requerimientos que el RDSS debé cubrir y que sistemas actuales no satisfacen.

En el tercer capítulo se detallan las características operacionales del RDSS, tanto los elementos que lo integran como su principio de operación.

La segunda parte de la tesis propone un diseño para una posible implementación del RDSS en México. En el capítulo 4 se proporcionan las ecuaciones necesarias para este diseño, así como una memoria técnica para obtener los parámetros del sistema.

Finalmente, el capítulo 5 presenta un estudio de mercado para obtener la demanda y la rentabilidad del servicio a corto plazo, además de plantear aplicaciones inmediatas y futuras del sistema.

Se agregan dos apéndices para detallar aspectos importantes en el diseño del RDSS, tales como la técnica de acceso por división de código, y los resultados del cálculo del enlace para seis ciudades mexicanas, evaluando de esta manera las características de operación en el Territorio Mexicano.

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES DE LAS COMUNICACIONES POR SATELITE

1.1 TIPOS DE SERVICIO QUE OFRECE UN SISTEMA DE SATELITES.

Los satélites prestan una gran variedad de servicios, sin embargo, éstos se clasifican en dos tipos:

- Servicio Fijo por Satélite.
- Servicio Móvil por Satélite.

Existen otros tipos de servicios, los cuales pueden considerarse un caso particular de los aquí descritos.

Servicio Fijo por Satélite (SFS): Es el servicio de telecomunicaciones entre puntos fijos determinados en la superficie de la Tierra, cuando se utiliza un satélite. Las estaciones que se sitúan en los puntos fijos se denominan estaciones terrenas. Las estaciones situadas en los satélites son denominadas estaciones espaciales. Las principales señales transmitidas por el SFS son: telefonía, telegrafía, facsímil, transmisión de datos, programas radiofónicos y televisión.

Servicio Móvil por Satélite (SMS): Es el servicio de radiocomunicación entre una estación terrena fija y estaciones en unidades móviles utilizando un satélite. Dichas unidades pueden ser barcos, aeronaves o vehículos terrestres y se denomina entonces servicio móvil marítimo, aeronáutico o terrestre por satélite, respectivamente (Figura 1.1). El Servicio de Radiodeterminación por Satélite (RDSS) es un caso particular del SMS, por lo que éste se describe a continuación con más detalle.

1.2 SERVICIO MOVIL POR SATELITE.

El servicio móvil por satélite (SMS) proporciona radiocomunicaciones entre estaciones terrenas en movimiento y

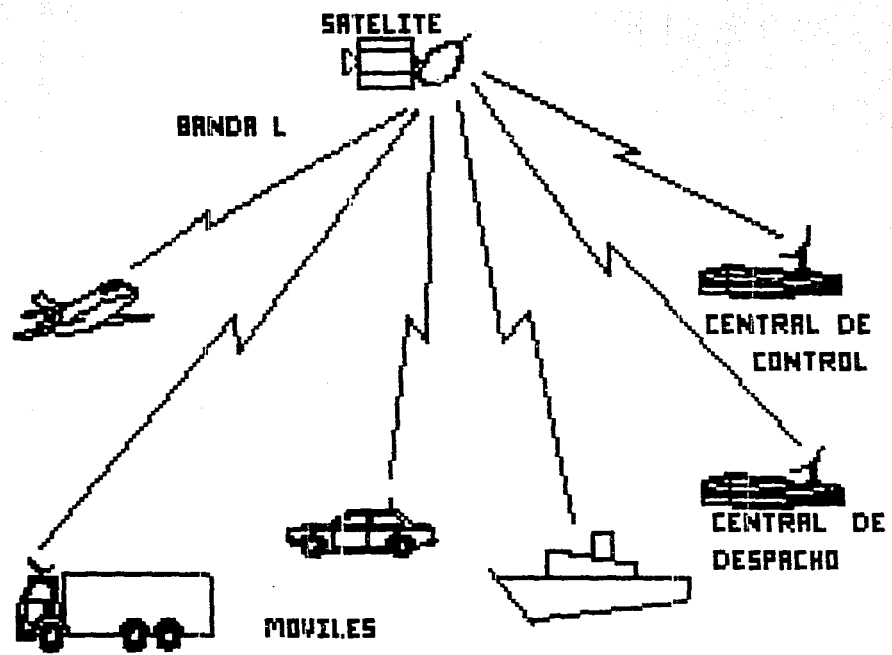


FIGURA 1.1 SERVICIO MOVIL POR SATELITE

centrales fijas o estaciones de control. El SMS fue concebido para complementar las funciones de los tradicionales servicios marítimo, aeronáutico y terrestre, que funcionan esencialmente por radio en la banda de UHF y sirven para la radiolocalización, la radionavegación y los sistemas de socorro y seguridad. Este servicio supera las limitaciones de la visibilidad directa y de la propagación ionosférica, cubriendo extensas zonas geográficas aun en lugares remotos y aislados, y asegura las comunicaciones en caso de emergencia o catástrofes naturales.

Desde 1971 la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) ha reglamentado y asignado frecuencias al SMS basándose en las características técnicas deseables de las estaciones terrenas móviles, como son sus dimensiones y peso reducidos, bajas potencias de transmisión y antenas casi omnidireccionales de baja ganancia para evitar excesivas pérdidas de transmisión debidas a la atmósfera. Las bandas de frecuencia típicas para el SMS están comprendidas entre 1545 y 1660 MHz.

1.2.1 Marco Histórico.

Debido a las posibilidades tecnológicas de la época, el servicio móvil marítimo por satélite fue el primero en desarrollarse pues resultaba aún impráctico colocar estaciones terrenas en aeronaves o en móviles terrestres. En 1976, la empresa COMSAT General Corporation comenzó a prestar este servicio en banda L con el lanzamiento de sus tres satélites MARISAT, sistema que proporcionaba a la armada de los Estados Unidos y naves comerciales los servicios de telefonía, télex, facsímil y datos. El servicio alcanzó un carácter internacional en 1982 con la creación de la Organización Internacional de Telecomunicaciones Marítimas por Satélite (INMARSAT), que actualmente ofrece el servicio por medio de tres satélites INTELSAT-V y dos MARECS de la Agencia Espacial Europea (ESA). INMARSAT pronto operará satélites de su segunda generación, que triplicarán la capacidad actual, y está planeando una tercera generación que entrará en operaciones

en esta década. INMARSAT proporciona servicio a 9 000 terminales en barcos y crecerá aún más cuando el servicio aeronáutico se añada.

La posibilidad de utilizar los satélites para el servicio móvil aeronáutico se consideró por primera vez en 1966 al realizar pruebas utilizando el satélite ATS-1 de la NASA. en 1972 se estableció el programa AEROSAT entre los Estados Unidos y la ESA pero fue abandonado por falta de fondos. El servicio tuvo una posibilidad real en 1985, cuando INMARSAT decidió añadirlo a su campo de operaciones. Desde 1989 la British Airways ofrece un servicio preoperacional de teléfono de pago con tarjeta de crédito por medio de INMARSAT, pero ésta también planea proporcionar datos de baja velocidad para las comunicaciones operacionales, meteorológicas, de control de tráfico aéreo y supervisión de posición; así como comunicaciones de alta velocidad y voz, incluyendo facsímil y telefonía para los pasajeros. Los experimentos en vuelos continúan en los Estados Unidos y son factores clave la realización de un código estándar de voz de 4 800 bps y el desarrollo de antenas especiales.

1.2.2 Servicio Móvil Terrestre por Satélite.

El servicio móvil terrestre por satélite (LMSS) ha sido el último en desarrollarse debido a las limitaciones tecnológicas. Actualmente ha superado la etapa experimental, ya que la tecnología actual permite incrementar la potencia de los satélites y el tamaño de sus antenas, además de que se han mejorado los amplificadores de bajo ruido en tierra por lo que los sistemas de LMSS serán implementados en los próximos años. Las primeras aplicaciones fueron en situaciones de emergencia, en efecto, INMARSAT adaptó sus estaciones originalmente diseñadas para barcos y logró establecer enlaces de datos y telefonía para operaciones de socorro en los terremotos de México, el huracán Gilberto en el Caribe y el terremoto de Armenia en la URSS. En 1989 INMARSAT puso en operaciones estaciones móviles de dimensiones reducidas, el

sistema STANDARD-C, cuya finalidad es proporcionar un sistema bidireccional de textos con cobertura global. Si bien el sistema fue desarrollado para uso marítimo, sus aplicaciones en tierra son numerosas.

El LMSS puede ofrecer servicios que no son posibles o resultan demasiado caros con los medios terrestres tradicionales, tales como la telefonía celular y la radio móvil privada. Un sólo satélite geoestacionario puede proporcionar una cobertura muy extensa por lo que se superan los problemas de visibilidad directa. Como los ángulos de elevación de las antenas móviles son altos, las reflexiones en tierra son despreciables y el desvanecimiento multitrayectoria se evita casi totalmente. La atenuación debida al follaje se reduce considerablemente pues las señales vía satélite sólo pasan a través de las coronas de los árboles. Además, el costo es independiente de la densidad de población. Sin embargo, a estas ventajas hay que restar los efectos del bloqueo de edificios de áreas urbanas en la línea de vista entre el satélite y el móvil; sólo la tecnología celular puede ofrecer márgenes satisfactorios para operar adecuadamente en áreas urbanas de gran elevación. Por todo ésto el LMSS complementa a los sistemas terrestres, ofreciendo el servicio a poblaciones dispersas en áreas rurales y suburbanas.

Dos servicios genéricos pueden ser proporcionados por el LMSS. Uno es el radioteléfono, con interconexión a la red telefónica pública, que posibilita a un vehículo llamar a cualquier teléfono fijo en el mundo, y viceversa. El otro es la radio móvil privada, en la cual la comunicación sólo se realiza entre un vehículo y su central de despacho. En ambos servicios se puede proporcionar voz, datos, radiolocalización y búsqueda de vehículos.

Los primeros satélites dedicados exclusivamente al LMSS serán lanzados en los próximos años. En 1989, la Federal Communications Commission (FCC) de los Estados Unidos autorizó el servicio de

comunicaciones móviles por satélite a la empresa American Mobile Satellite Corporation (AMSC) y asignó las frecuencias de 1545-1559/1646.5-1660.5 MHz (Banda L) a los enlaces satélite-móvil/móvil-satélite, y la Banda Ku (11/14 GHz) a los enlaces satélite-central/central-satélite. La AMSC propone más de 10 haces para cubrir América del Norte, México y el Caribe y crear un sistema celular por satélite. En 1994 lanzará su primer satélite, que tendrá una PIRE de 55.5 dBW en Banda L y 2 000 canales de capacidad de 5 kHz de ancho de banda en los enlaces con los móviles.

La fuerte demanda del LMSS probablemente agotará el espectro de Banda L y se incursionará en las Bandas Ku y Ka.

1.3 INFRAESTRUCTURA DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES POR SATELITE.

Las partes fundamentales que integran un sistema vía satélite son:

- Segmento Espacial.
- Segmento Terrestre.

1.3.1 Segmento Espacial.

El segmento espacial (satélite) es un repetidor o relevador radioeléctrico que está formado por un conjunto de subsistemas capaces de realizar funciones tales como: suministro de energía eléctrica; control orbital; control térmico; propulsión; telemetría, rastreo y comando; y principalmente comunicaciones.

Subsistema de comunicaciones.

El subsistema de comunicaciones consiste en dos partes fundamentales que son:

A) Antenas

Las antenas reciben las señales desde la Tierra, las entregan

a los transpondedores y las retransmiten. El área de vista de un satélite en su órbita es aproximadamente de un tercio del globo terraqueo, pero su cobertura de radiación electromagnética depende de la configuración de las antenas. Por ejemplo, el Sistema de Satélite Morelos de México cuentan con una antena omnidireccional, una antena de plato y un arreglo planar, que sólo cubren el territorio mexicano.

B) Transpondedores

Los transpondedores o canales repetidores son la parte más importante en el subsistema de comunicaciones. Cada transpondedor consiste de amplificadores, guías de onda, filtros; que tienen por objeto recibir una señal, cambiarle la frecuencia, amplificarla y retransmitirla a través de las antenas del satélite. Los tubos de onda progresiva (Traveling Wave Tube -TWT) se han utilizado como amplificadores, pero próximamente se utilizarán los amplificadores de estado sólido.

1.3.2 Segmento Terrestre.

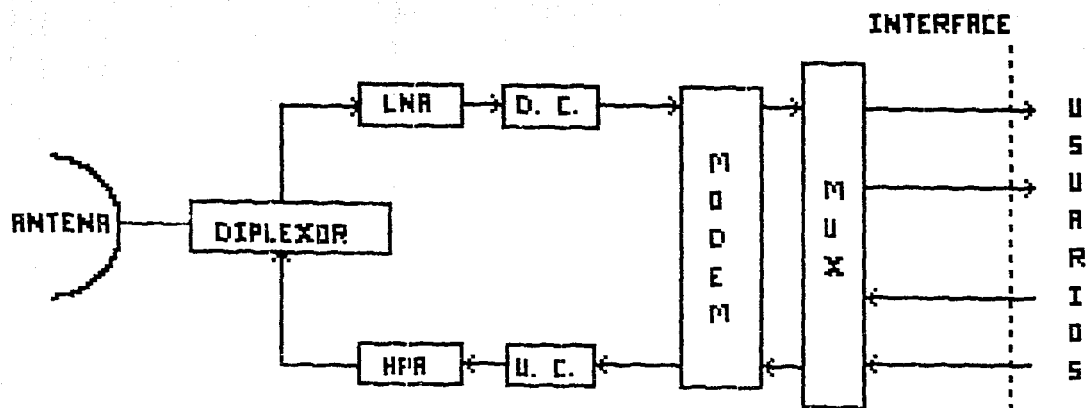
El segmento terrestre esta constituido por las estaciones terrenas y existe una gran variedad de éstas, dependiendo de las necesidades particulares y aplicaciones de cada usuario. La estación terrena es un sistema que está compuesto por:

Equipo de Radiofrecuencia

Se refiere a todo elemento involucrado en el manejo de altas frecuencias de operación y en la discriminación de las portadoras que no sean aquellas a las que se encuentran sintetizado el sistema. Consta de los elementos mostrados en la figura 1.2.

Equipo de Banda Base

Canaliza toda la información del usuario en una sola troncal. Al mismo tiempo realiza la modulación y demodulación de las señales. Y proporciona la interface con otros sistemas. Sus elementos se muestran en la figura 1.2.



MUX.- MULTIPLEXOR
 MODEM.- MODULADOR/DEMODULADOR
 D.C.- CONVERTIDOR DE BAJADA
 U.C. - CONVERTIDOR DE SUBIDA
 HPA - AMPLIFICADOR DE ALTA POTENCIA
 LNA - AMPLIFICADOR DE BAJO RUIDO

FIGURA 1.2 ESTACION TERRENA

Otra tipo de equipo que esta incluido en estaciones terrenas grandes es un sistema automático de compensación de potencia y un sistema automático de rastreo. Generalmente en este tipo de estaciones se cuenta con equipo redundante y un sistema de energía no interrumpible.

1.4 PARAMETROS DE UN ENLACE POR SATELITE.

1.4.1 Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE).

Es la medida de la potencia transmitida por una antena, y corresponde a la potencia equivalente que una antena isotrópica tendría que radiar para lograr la misma densidad de potencia en un punto dado. La PIRE es importante para el cálculo de la capacidad máxima de potencia del transmisor. Es expresada matematicamente como:

$$PIRE = P_t + G_t \text{ [dBW]}$$

Donde:

P_t = potencia del transmisor (dBW).

G_t = ganancia de la antena (dBi).

1.4.2 Densidad de Flujo de Potencia en Saturación del Satélite.

Es la relación de la potencia que se tiene en la antena receptora del satélite por unidad de área, necesaria para saturar un transpondedor (Figura 1.3).

1.4.3 Temperatura de Ruido del Sistema.

La temperatura de ruido es el término empleado para describir la cantidad de ruido en un sistema de comunicaciones por satélite, este concepto proviene de la siguiente relación:

$$P_N = kTB \quad \text{[Watts]}$$

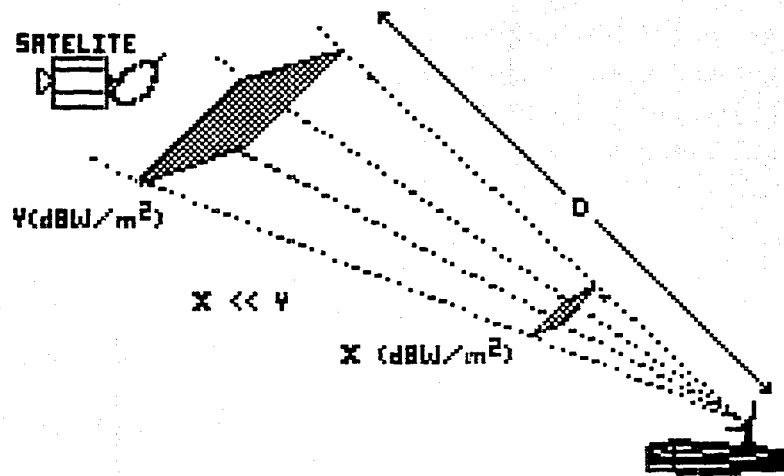


FIG. 1.3 DENSIDAD DE FLUJO DE POTENCIA EN SATURACION (DFS).

Donde:

P_N - Potencia de ruido [Watts]

k - Constante de Boltzman (1.38×10^{-23} Watt-seg/°K)

T - Temperatura absoluta del sistema [°K]

B - Ancho de banda [Hz]

La temperatura de ruido de una fuente ruidosa es la temperatura equivalente requerida para producir la misma potencia de ruido en el ancho de banda en consideración. Por lo tanto, de la ecuación anterior se obtiene la siguiente:

$$T = P_N / kB$$

Donde:

T = Temperatura de ruido [°K]

En el caso de satélites, las fuentes ruidosas son: la misma fuente que proporciona las señales y los equipos de telecomunicaciones (antenas, amplificadores, guías de onda, etc.) por los cuales transita la información. La temperatura de ruido de la antena es el ruido total recibido por ésta (ruido producido por fenómenos naturales más el generado por la electrónica asociada).

La figura de ruido (NF) es un valor numérico que indica la cantidad de ruido en los receptores convencionales y que se relaciona con la temperatura de ruido con la siguiente expresión:

$$NF = 1 + T/T_0$$

Donde:

T - Temperatura de ruido del sistema

T_0 - Temperatura ambiente

1.4.4 Figura de Mérito (G/T).

Es la relación de la ganancia de la antena receptora a la temperatura de ruido del sistema. Esta es una de las características más importantes de una estación terrena y de un

satélite. La Figura de Mérito indica la calidad del subsistema de recepción, ya que la señal que se recibe en tierra o en el satélite es muy débil, es importante que la antena receptora y el equipo de radiofrecuencia asociado a ésta, introduzcan la mínima cantidad de ruido.

Se representa por la siguiente expresión:

$$\text{Figura de Merito} = G/T$$

$$G/T = 10 \log (G) - 10 \log (T) \quad [\text{dB}/^\circ\text{K}]$$

Donde:

G = Ganancia de la antena receptora [dB]

T = Temperatura de ruido del sistema [$^\circ\text{K}$]

$$T = T_A + T_{LNA} + T_M$$

Siendo:

T_A = Temperatura de ruido de la antena

T_{LNA} = Temperatura del LNA

T_M = Temperatura de ruido misceláneo (pérdidas en el alimentador y en toda la trayectoria anterior al LNA).

1.4.5 Back Off.

Back off es el proceso de reducir los niveles de potencia a la entrada y a la salida de un amplificador de alta potencia (HPA) para operar en la región lineal, con el objeto de reducir el ruido de intermodulación cuando se utilizan varias portadoras (Figura 1.4). Es expresado en dB.

1.4.6 Polarización.

La polarización de una onda electromagnética se determina por la dirección de la intensidad del campo eléctrico con respecto al eje de una antena. Generalmente se toma como referencia la superficie terrestre, esto es, si el campo eléctrico es paralelo a

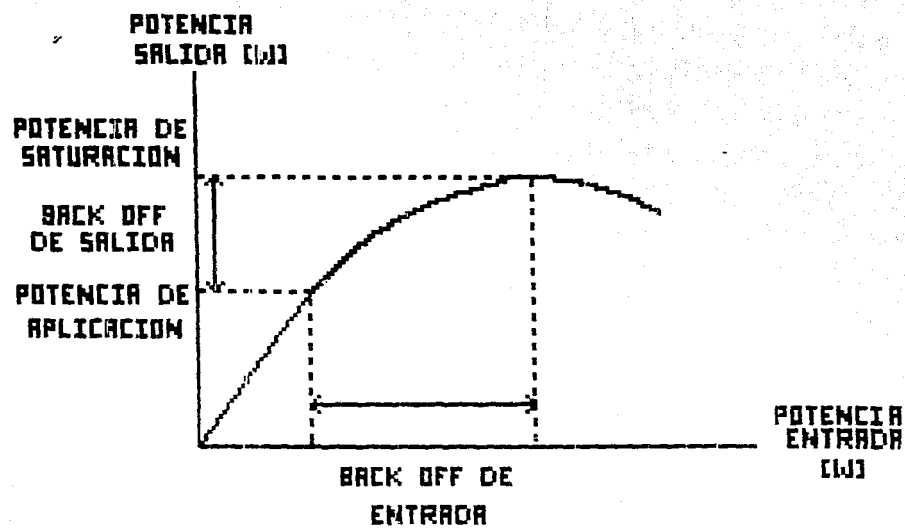


FIGURA 1.4 BACK OFF

la superficie de la Tierra, se dice que la onda está horizontalmente polarizada; si el campo eléctrico es perpendicular a la superficie terrestre, la onda está verticalmente polarizada. Cuando existe una combinación de una polarización horizontal y una vertical se tiene entonces una polarización circular; en este caso, el campo eléctrico gira en un plano circular.

1.4.7 Capacidad de la Portadora.

Este parámetro es importante en los sistemas FDMA, ya que una sola portadora puede llevar varios canales. El ancho de banda de la portadora aumentará conforme se incremente el número de canales que se transmitan. La siguiente tabla es un ejemplo del número de canales que puede transmitir una portadora de FM en el sistema INTELSAT:

ANCHO DE BANDA (MHz)	CAPACIDAD DE LA PORTADORA (CANALES)	PIRE dBW
2.5	60	81.4
5.0	122	83.2
7.5	192	84.7
10.0	252	85.4
15.0	432	88.4
20.0	612	90.1
25.0	792	91.5
36.0	1872	96.6

1.5 TECNICAS DE ACCESO AL SATELITE .

En todos los sistemas de telecomunicación existe el problema de compartir el mismo medio de transmisión por un número diverso de usuarios.

Los sistemas de Comunicaciones Vía Satélite no están exentos de este problema, sino que, por el contrario, se acentúa debido a las limitaciones que existen actualmente en los satélites en cuanto a capacidad de transmisión se refiere.

A fin de poder compartir el ancho de banda y la potencia de los satélites, diferentes soluciones conocidas como sistemas de acceso múltiple han sido ideadas. El objetivo de estos sistemas es que el mayor número de estaciones terrenas comparta los recursos del satélite buscando un equilibrio entre el ancho de banda y la potencia disponible en los transpondedores.

Los diversos sistemas de acceso múltiple aplicados actualmente, son básicamente cuatro tipos :

1.5.1 Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA).

El Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA), cuyo acrónimo viene de las palabras inglesas "Frequency Division Multiple Access", representa el sistema de acceso más simple y consiste en la transmisión simultánea de un número diverso de portadoras a diferentes frecuencias con anchos de banda no traslapados (Figura 1.5). En este tipo de acceso, a cada señal se le asigna una frecuencia por lo que se presentan productos de intermodulación en el amplificador de transmisión, ocasionados por la presencia simultánea de varias portadoras, los cuales son minimizados por una adecuada selección de la frecuencia de los canales, o bien por la reducción de los niveles de potencia a la entrada de los HPA's para permitir una operación casi lineal.

Se deben utilizar bandas de guarda entre los anchos de banda de cada portadora para minimizar la interferencia entre portadoras adyacentes, disminuyendo así la eficiencia de utilización del ancho de banda total del transpondedor.

En FDMA, la capacidad de ancho de banda de un transpondedor se divide, generalmente, en el siguiente tipo de bandas:

- a) Pocas bandas de gran capacidad donde cada banda puede manejar un nivel jerárquico del multicanalización por división de frecuencia con modulación en frecuencia (FDM/FM).

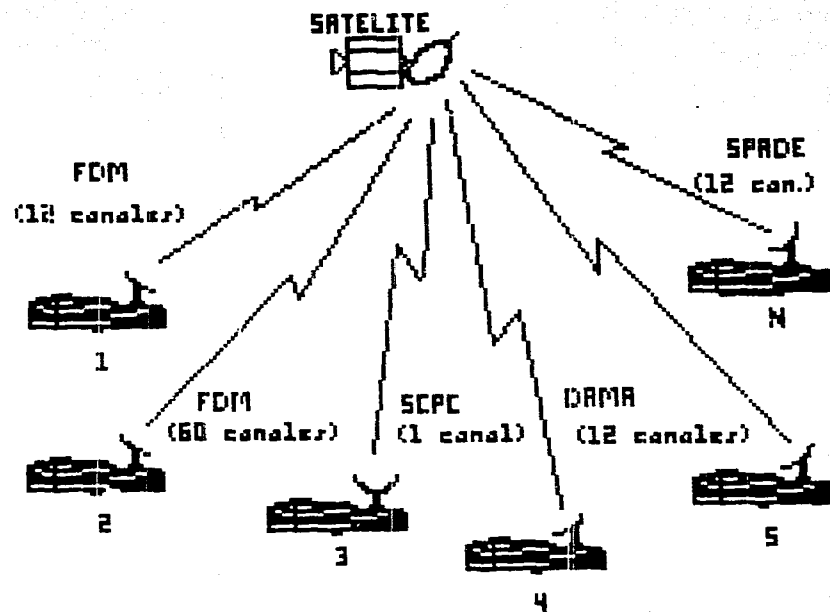


FIGURA 1.5 EJEMPLO DE FDMA.

- b) Muchas bandas, cada una de las cuales puede manejar un canal analógico o digital. Este tipo de esquemas se conoce como canal único por portadora (SCPC-Single Chanel Per Carrier).
- c) Una mezcla de los dos anteriores.

En los sistemas FDM/FM/FDMA, la capacidad de un transpondedor operando, varía de acuerdo al número de portadoras, la cual está íntimamente ligada al número de estaciones accedendo al transpondedor. Esta técnica es ineficiente en el sentido de que cada enlace entre dos estaciones tiene asignada una frecuencia única que no es utilizada por algún otro enlace en ese momento.

La técnica de canal único por portadora (SCPC) tiene gran aplicación cuando se desea interconectar un gran número de estaciones terrenas de muy baja capacidad o demanda de tráfico y consiste en que a cada canal se le asigna una frecuencia portadora, misma que es modulada en FM o PSK.

En los sistemas telefónicos, cuando las portadoras funcionan a base de un sistema de un banco de frecuencias controlado por una computadora central y se utiliza el criterio de "servicio a quien pida primero", la técnica recibe el nombre de Acceso Múltiple de Asignación por Demanda (DAMA). Cuando los canales de voz están codificados en PCM, la técnica se conoce como SPADE (Equipo de Asignación por Demanda en Acceso Múltiple para Canal PCM único por portadora).

1.5.2 Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA).

El Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA), cuyo acrónimo viene de las palabras inglesas "Time Division Multiple Access", es una técnica que permite recibir en el satélite las transmisiones de las diversas estaciones terrenas con un esquema de ranuras de tiempo separadas, por lo que evita la generación de productos de intermodulación (Figura 1.6). El TDMA permite operar

al HPA en saturación, resultando un incremento significativo de la potencia útil de salida. Además, cada estación terrena debe determinar con precisión el tiempo y rango de adquisición de la señal, de tal manera que todas las señales transmitidas sean temporizadas para llegar al satélite en la ranura de tiempo apropiada. El sistema TDMA es muy atractivo, pero requiere de equipo de sincronización altamente confiable, incrementándose el costo de la estación terrena. Este sistema es recomendado exclusivamente en transmisiones que utilizan modulación digital.

1.5.3 Acceso Múltiple por División de Código.

El Acceso Múltiple por División de Código (CDMA), cuyas siglas provienen del inglés "Code Division Multiple Access", nació de la combinación de las dos técnicas anteriormente descritas, con lo cual se genera un plano tiempo-frecuencia, en donde la transmisión de cada estación terrena es separada por una transmisión codificada en forma ortogonal, es decir, se asigna un código pseudoaleatorio característico a cada señal transmitida al satélite de tal forma que, en la recepción, la estación reconoce por su código la señal que le está destinada de entre todas las señales que se envían desde el satélite. Con el fin de poder identificar la señal de interés entre varias, es común utilizar técnicas de correlación. En este tipo de acceso, las señales utilizan toda la banda del repetidor simultáneamente por lo que también recibe el nombre de acceso múltiple por esparcimiento de espectro (Figura 1.7).

Originalmente, los sistemas CDMA tuvieron aplicaciones militares, sin embargo, se han encontrado aplicaciones comerciales ya que presentan ciertas ventajas: la coordinación entre los transmisores es innecesaria, ofrece privacidad en la recepción de las comunicaciones gracias a la codificación, existe protección contra la interferencia, permite superar los efectos de la propagación por trayectos múltiples. Por otra parte, sus principales desventajas son: al aumentar la carga del

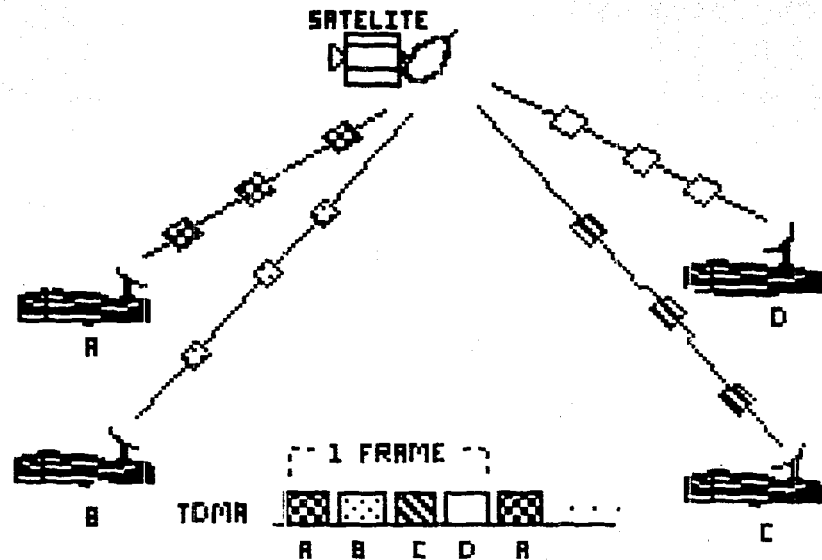


FIGURA 1.6 EJEMPLO DE ACCESO TDMA

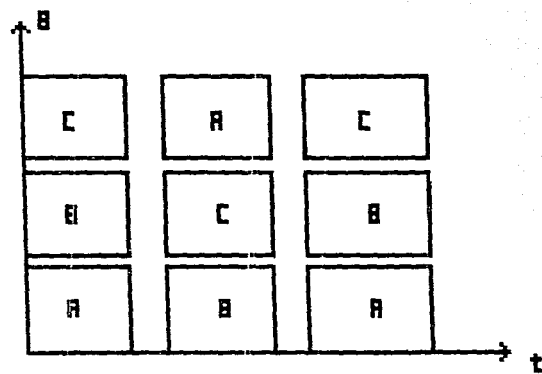


FIGURA 1.7 EJEMPLO DE ACCESO CDMA

transpondedor, se produce una degradación en la calidad de la transmisión (relación señal a ruido); y, finalmente, al ensanchar el espectro, la densidad espectral de cada señal transmitida al satélite es muy baja, pudiéndose utilizar solamente velocidades de transmisión relativamente reducidas.

Existen varios tipos de CDMA, pero la secuencia directa o pseudoruido y la de salto de frecuencia son las más ampliamente utilizadas (ver Apéndice A).

Para diseñar un sistema CDMA se plantean dos problemas: la selección de un código en el transmisor y la sincronización en el receptor. La selección del código se basa en las propiedades de correlación de las secuencias binarias mientras que la sincronización atiende dos etapas; la sincronización inicial o adquisición y el seguimiento. En la primera se utilizan correladores deslizantes que comparan el código recibido con una versión periódica desplazada del código generado localmente y, por su parte, el seguimiento incluye la sincronización de los segmentos.

1.5.4 Acceso Múltiple por División de Espacio.

El Acceso Múltiple por División de Espacio (SDMA, del inglés "Space Division Multiple Access") permite compartir el espectro haciendo uso de ortogonalidad geométrica (tanto en los haces como en la polarización). Las estaciones transmisoras y receptoras pueden utilizar haces separados (o usar polarizaciones cruzadas). Los haces separados se obtienen de la configuración del sistema de antenas del satélite, logrando arreglos cuya cobertura tiene trayectorias distintas. Esta técnica se utiliza junto con FDMA, TDMA, o CDMA. En la figura 1.8 se muestra la comparación de las técnicas de acceso explicadas.

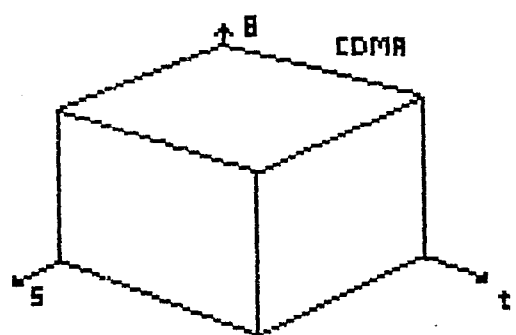
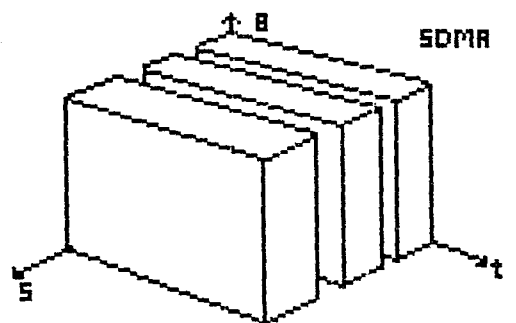
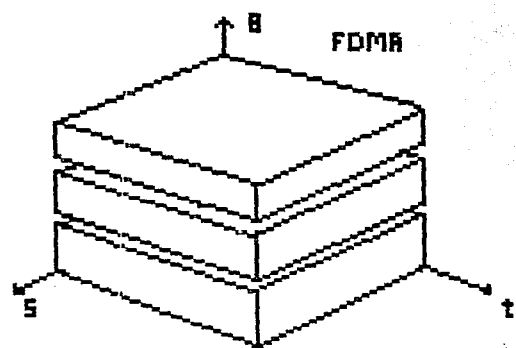
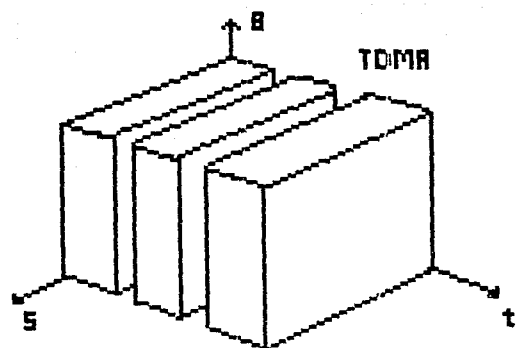


FIGURA 1.8 COMPARACION DE LAS TECNICAS DE ACCESO

CAPITULO 2

CARACTERISTICAS DEL SISTEMA DE RADIODETERMINACION POR SATELITE

2.1 ORIGENES DEL RDSS.

2.1.1 Antecedentes del RDSS.

Los sistemas de radiolocalización empezaron a desarrollarse poco antes de la Segunda Guerra Mundial. En 1934, un equipo de técnicos británicos había demostrado la eficacia del radar en la defensa de su país.

El sistema de radar consiste en determinar la posición, la velocidad y las características de vehículos situados fuera del alcance visual. Para tal efecto se utiliza una radioemisora que, por medio de una antena direccional, emite impulsos o trenes de onda de muy corta duración y en un haz estrecho; estos impulsos se reflejan contra los vehículos que encuentran y son recibidos por un receptor anexo donde se proyectan sobre una pantalla de tubo de rayos catódicos cuyo barrido está sincronizado por el emisor. La duración del trayecto de ida y vuelta del haz valora la distancia a que está el objeto; la orientación de la antena, que sirve lo mismo para la emisión que para la recepción, indica su dirección; la velocidad del objeto puede determinarse teniendo en cuenta las variaciones de frecuencia de las ondas reflejadas según el efecto Doppler; las características del vehículo se definen por la potencia de las ondas reflejadas.

Actualmente los aviones usan el radar para fijar su posición y altura sobre el suelo, y los barcos los emplean para orientarse en las costas y evitar colisiones. Además, en los aviones se utilizan sistemas totalmente electrónicos, siendo los más importantes el LORAN y el DECCA, los cuales son llamados hiperbólicos ya que determinan la posición del avión por curvas hiperbólicas. Estas curvas son las líneas de posición obtenidas

por la medición de la diferencia de tiempos que hay en recibir señales de radio de al menos tres transmisores sincronizados y situados en puntos distintos y determinados. La intersección de las líneas de posición de dos pares de transmisores da la posición del avión.

Uno de los primeros sistemas de radiolocalización fué el Servicio de Radiobalizas de Localización de Siniestros (RLS), que actualmente constituye una parte esencial del Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítimos (SMSSM). El servicio consiste de un dispositivo de baja potencia (radiobaliza) que sirve para enviar señales de socorro y permitir así la localización de siniestros. Las radiobalizas están instaladas en barcos y, al momento de un incidente, se activan manual o automáticamente enviando señales de alerta a terminales de usuario local (LUT- Local User Terminal) en buques cercanos, aeronaves en vuelo y estaciones en tierra firme. La señal de socorro consiste en tonos repetidos alternadamente (señal de alarma radiotelefónica internacional), que contienen la información relacionada con el siniestro y que son recibidos en las LUT. Al detectarse la existencia de emergencia, se determina la situación geográfica del siniestro para poder prestar ayuda eficaz. La señal de alerta puede contener la posición del barco (previamente calculada a bordo con sistemas de radionavegación), o bien, ésta puede ser estimada por radiogonometría o radar.

Con el advenimiento de las comunicaciones vía satélite, los sistemas de radar y radiolocalización han evolucionado, obteniéndose mayores posibilidades para estos servicios y apareciendo otros complementarios.

Como antecedente directo del sistema de RDSS se tiene un experimento destinado a demostrar la fiabilidad de los sistemas móviles por satélite para proveer servicios de determinación automática de la posición de vehículos, llevándose a cabo en la Unión Americana, en 1980, utilizándose para ello el satélite

geostacionario experimental ATS-6 (Satélite de Tecnología y Aplicaciones de la NASA) colocado en 140° de longitud Oeste. El ATS-6 recibió señales en la banda de 1650 MHz empleando para ello su antena parabólica de 9.1 m de diámetro, señales que procesó y transmitió a Tierra en la banda de 1550 MHz.

El experimento consistió en determinar la posición de un remolcador que surcaba el río Mississippi, al cual se le instaló un equipo móvil y la estación base fue la oficina de la empresa de remolcadores en Davenport, Iowa.

El laboratorio de la estación terrena siguió el desplazamiento del remolcador por el río. Una de las líneas de localización de posición se trazó mediante una determinación interactiva de la distancia por tonos codificados a partir del satélite ATS-6, la otra línea se derivó de la recepción pasiva de las señales de temporización procedentes del satélite GOES de la National Oceanic and Atmospheric Administration. Cada tres segundos el laboratorio transmitía sucesivamente al remolcador y a la estación fija interrogaciones de la distancia por tonos codificados, así cada seis segundos se obtenía el punto de posición del remolcador durante la operación de seguimiento. Los puntos fueron luego comparados con la ayuda de una computadora, con los puntos reales, para determinar los posibles errores de posición obtenidos a través de este método.

Estos experimentos demostraron la posibilidad de retransmitir, a través de satélites geostacionarios, comunicaciones de anchura de banda vocal de buena calidad, utilizando para ello equipos móviles cuyo costo y construcción son similares a los de los aparatos móviles de radiocomunicaciones existentes. La adición de un equipo de comunicación vocal ayuda a que una estación terrena fija determine la línea de posición del vehículo. Si éste se halla equipado de un receptor capaz de medir el tiempo de llegada de una señal procedente de un segundo satélite, esta estación terrena fija estará en condiciones de

determinar una segunda línea de posición del vehículo y, por consiguiente, de determinar su posición.

2.1.2 Sistemas Actuales.

Los sistemas por satélite actuales que determinan la posición de unidades móviles se dividen en dos categorías:

- Sistemas de radiolocalización por satélite.
- Sistemas de radionavegación por satélite.

En ambos casos, el principio empleado para localizar la estación móvil se basa en un enlace de un solo sentido con el usuario, como se describe a continuación.

Sistemas de Radiolocalización por Satélite

En los sistemas de radiolocalización por satélite, las coordenadas de la estación móvil son calculadas en una estación central en base a la transmisión de la estación móvil, así las coordenadas calculadas están disponibles para cada central de despacho (centrales localizadas a cierta distancia de la estación central, que controlan una flota de estaciones móviles), como se muestra en la figura 2.1. Cada usuario puede conocer su posición solamente si se establece un enlace de regreso. Este sistema utiliza satélites de órbita baja, presentando el inconveniente de que la localización no sea instantánea, por lo que sólo se utiliza para la búsqueda y rescate. El sistema COSPAS/SARSAT es un ejemplo de un sistema global de radiolocalización por satélite.

El sistema COSPAS/SARSAT ofrece el servicio de Radiobalizas de Localización de Siniestros por satélite. Este es un sistema de órbita polar baja y sus radiobalizas operan a 406 MHz. Cuando algún satélite del sistema se encuentra a la vista de una radiobaliza transmisora, el mensaje de socorro es recibido y almacenado en el satélite; entonces es transmitido inmediatamente si hay una estación terrena a la vista, de lo contrario, el mensaje es almacenado hasta que aparezca una estación terrena.

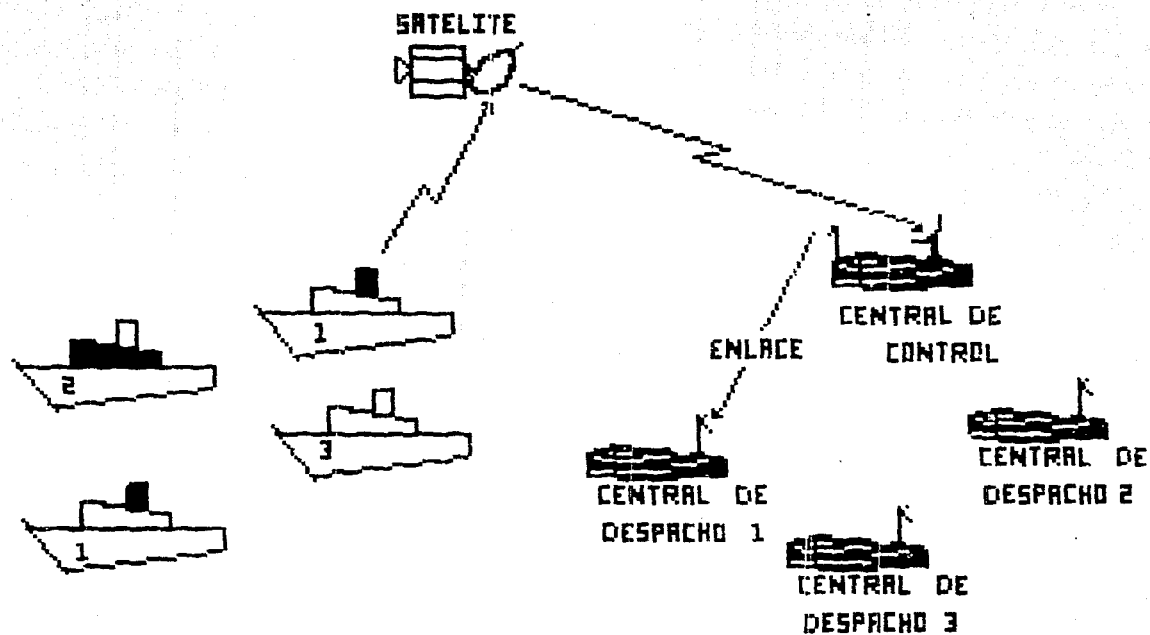


FIGURA 2.1 SISTEMA DE RADIOLOCALIZACION POR SATELITE

La posición se determina mediante la retransmisión de la información obtenida a bordo (sistemas de radionavegación) o por mediciones del desplazamiento Doppler de la señal recibida de la radiobaliza.

Otro ejemplo de radiolocalización por satélite es el servicio de radiobalizas de localización de siniestros ofrecido por INMARSAT. A diferencia del anterior, este sistema utiliza satélites geoestacionarios y emplea la banda de 1.6 GHz. Para la determinación de la posición, son necesarios al menos tres satélites con visibilidad directa a la radiobaliza.

Sistemas de Radionavegación por Satélite.

Los sistemas de radionavegación por satélite habilitan a los usuarios para establecer su localización independientemente, sin requerir los servicios de una estación central. Los cálculos son hechos por el equipo del usuario, el cual comprende un receptor para las señales de información de localización, provenientes del satélite (Figura 2.2). La radionavegación por satélite no posibilita a las centrales de despacho conocer la posición de sus estaciones móviles a menos que se establezca un enlace de retorno. Los sistemas GPS-NAVSTAR y GLONASS son ejemplos del servicio de radionavegación por satélite.

El GPS (Global Positioning System) utiliza al menos 24 satélites y es ideal para la navegación militar, ya que proporciona precisión y seguridad sin requerir de transmisión por parte de la unidad móvil. Por otro lado, existe un gran interés en el uso del sistema en la navegación comercial. El sistema GPS-NAVSTAR proporciona una determinación precisa de la posición gracias a dos canales de transmisión satélite-tierra. El sistema, en su forma operacional consta de 24 satélites en tres órbitas circulares de 12 horas con una inclinación de 63° respecto al ecuador. Debido a esta configuración, al menos tres satélites son

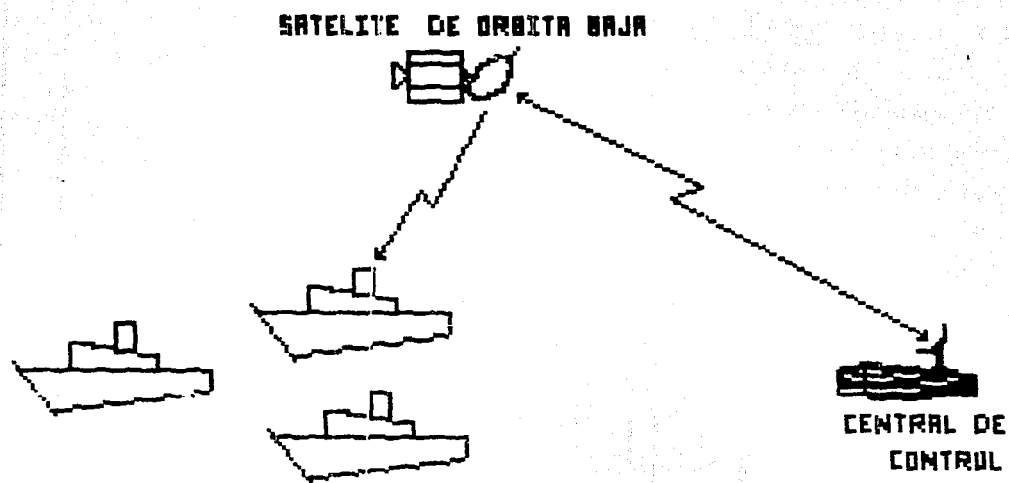


FIGURA 2.2 SISTEMA DE RADIONAVEGACION POR SATELITE

visibles en todo momento desde cualquier punto de la tierra. Cada satélite transmite dos frecuencias idénticas para señales de navegación. Dichas señales se modulan con un flujo de bits predeterminados, que contiene datos del día y la hora; su ancho de banda es suficiente para producir la precisión de navegación necesaria. Las frecuencias utilizadas en este sistema están en función de la precisión que necesitan los usuarios, de la resolución del retardo de propagación espacio-tierra, de la supresión de los trayectos múltiples, y de las configuraciones y costo de los equipos.

Han sido seleccionados dos canales para las operaciones de este sistema: L1 de 1575.42 MHz y L2 de 1227.6 MHz. El canal L1 se utiliza para determinar la ubicación del usuario con una precisión de 150 metros. Una segunda señal transmitida por ambos canales L1 y L2, proporciona la diversidad de frecuencia necesaria y una anchura de banda mayor con vistas a incrementar la precisión en la determinación de la distancia, de manera que la resolución del retardo de propagación Tierra-espacio y la supresión de trayectos múltiples aumentan la precisión total.

El sistema GPS-NAVSTAR es un sistema pasivo ya que no necesita de un enlace ascendente para la navegación. Por tanto, el espectro se conserva efectuando las funciones de telemetría y mantenimiento de posición en las bandas atribuidas a tal efecto.

2.1.3 El RDSS como Sistema Alternativo.

En los Estados Unidos de América y Francia se realizaron estudios de las necesidades de los usuarios para contar con un Servicio de Radiodeterminación por Satélite, RDSS (Radio Determination Satellite Service), el cual debía satisfacer simultáneamente las siguientes necesidades:

- Localización instantánea precisa de las unidades móviles en su correspondiente central de despacho mediante una estación terrena central.
- Ayuda a la navegación para las unidades móviles mediante la transmisión de su posición en un momento dado.
- Transmisión bidireccional de mensajes cortos.

Ninguno de los sistemas actuales, descritos anteriormente, permite satisfacer conjuntamente estas necesidades. Los nuevos sistemas de radiodeterminación por satélite, en su desarrollo o en su implementación, utilizan enlaces en dos sentidos entre la estación móvil y las estaciones terrenas centrales de control, a través de satélites geoestacionarios (Figura 2.3), proporcionando al mismo tiempo:

- Localización precisa de la posición (bilateral o trilateral).
- Accesos virtualmente inmediatos.
- Información de posición disponible, tanto para el usuario móvil, como para las centrales de despacho, a través de una estación terrena central de control.
- Acceso por medio de equipo cuya tecnología ya ha sido comprobada.
- Capacidad para servir a un gran número de unidades móviles.

2.2 SERVICIO DE RADIODETERMINACION POR SATELITE.

La primera compañía interesada en implementar el Servicio de Radiodeterminación por Satélite, RDSS (Radiodetermination Satellite Service) fue GEOSTAR, la cual diseñó el primer sistema en 1983, iniciando las pruebas de su sistema, las cuales consistieron en comunicar a una estación terrena con un transceptor móvil, utilizando un emulador de satélite, es decir, un repetidor con las características de un satélite situado en una montaña de cierta altitud. Las condiciones simularon la operación en la extrema latitud norte, cerca del límite de cobertura de un satélite geoestacionario. Estas pruebas comprendían tres puntos:

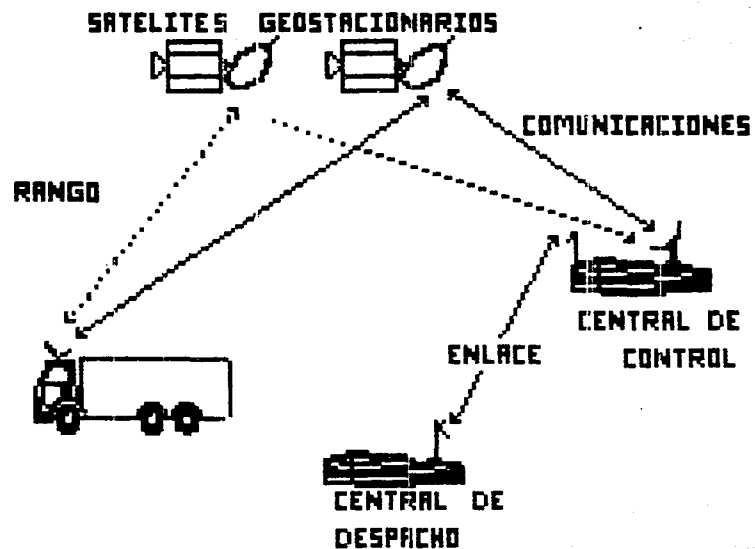


FIGURA 2.3 SERVICIO DE RADIODETERMINACION (RDSS)

guiar a un peatón a través de un campo hacia un punto determinado, guiar a un vehículo en una dirección determinada y, por último, orientar a una aeronave por medio de instrumentos en tierra. En condiciones óptimas las posiciones se desviaron aproximadamente un metro.

El sistema de GEOSTAR ha ido evolucionando hasta conformar un primer sistema llamado 1.0 que empezó a funcionar en 1987, el cual proporciona mensajes bidireccionales y complementa la determinación de posición con GPS. En los siguientes años aparecieron nuevas versiones hasta llegar a la 3.0, que opera en la banda L en los enlaces con los móviles. El sistema que se implementará en México es similar a esta versión, pero utilizará la banda Ku.

Las partes principales que participan en la radiodeterminación por satélite son:

- a) Una Estación Terrena Central.
- b) Dos o más Satélites de Orbita Geoestacionaria.
- c) Estaciones Móviles.
- d) Centrales de Despacho.

2.2.1 Determinación de la Posición.

El método de medición básico determina el rango de la unidad móvil en la estación central. Esto se realiza a través de la petición de información por parte de la central por medio de un satélite geoestacionario, a un transceptor que lleva la unidad móvil, respondiendo ésta a la central a través del mismo satélite. El tiempo que transcurre desde la transmisión de la petición hasta la recepción es multiplicado por la velocidad de propagación, dando como resultado la medición del rango entre la unidad móvil y el satélite utilizado. Esta medición es realizada desde la antena del transceptor móvil. La acción del transpondedor será retransmitir a la estación central a través del equipo de

comunicaciones del satélite dentro de la cobertura de éste. Cada satélite adicional al sistema proveerá otra medición de rango de la unidad móvil, así por ejemplo, tres mediciones de rango pueden proporcionar una determinación de posición incluyendo altitud, y dos rangos de medición pueden proveer una determinación de posición, obteniéndose la información de la altitud por algún otro medio (como pueden ser los datos proporcionados por el altímetro de un avión o por medio de almacenamiento de información topográfica en un computador, obteniéndose así un mapa digitalizado del terreno). En la figura 2.4a se muestra una medición en particular. Las líneas representan la trayectoria de todos los puntos sobre el Territorio Nacional que se encuentran a la misma distancia de cada satélite. La intersección de ambas determina la posición de la unidad móvil, para ello, la central resuelve un sistema de ecuaciones no lineales con dos incógnitas.

La geometría general de la determinación de posición es mostrada en la figura 2.4b. La precisión está en función de muchas variables tales como la distancia entre los satélites, la visibilidad con respecto a la unidad móvil, la velocidad y la dirección del movimiento de la unidad con respecto al promedio de medición de rangos, conocimiento de la localización de la órbita satelital, constantes terrestres y variaciones de propagación. Una medición de rango básico en el sistema de banda L está diseñada para tener una resolución de pocos metros. La alta precisión es establecida por el desarrollo de puntos precisos de referencia para eliminar errores sistemáticos. Aproximadamente 25 puntos de referencia sobre el territorio de los Estados Unidos de América deben determinarse para tener errores despreciables. El sistema GEOSTAR está diseñado para proveer una precisión de posicionamiento menor de 50 metros.

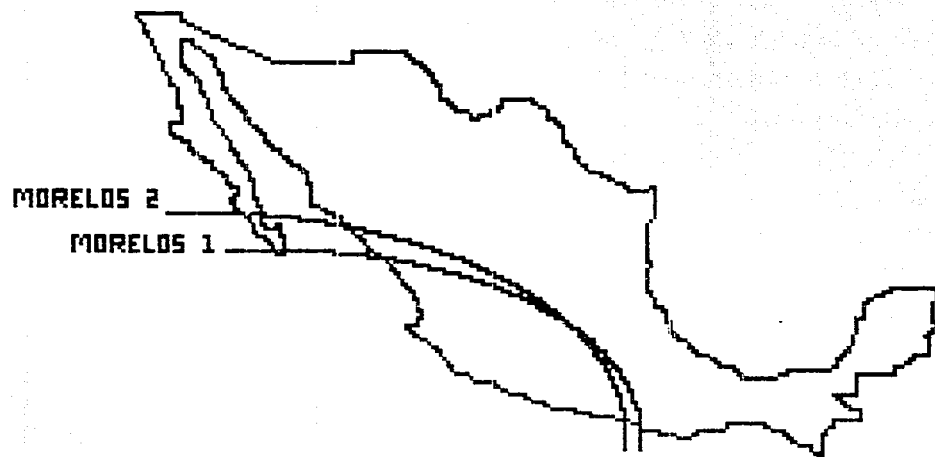


FIGURA 2.4A DETERMINACION DE LA POSICION

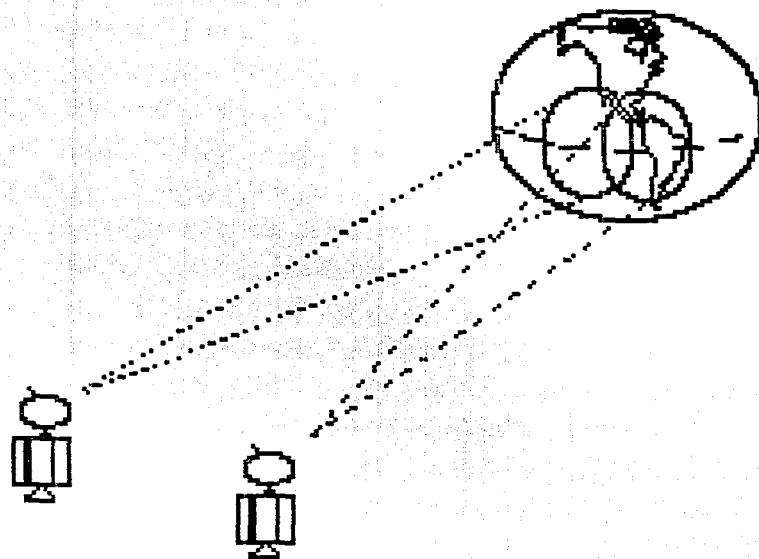


FIGURA 2.46 DETERMINACION DE LA POSICION

2.2.2 Mensajes Bidireccionales.

El envío de mensajes entre la central de despacho y sus unidades móviles se realiza al completarse la petición de información entre ellos y la respuesta de la unidad móvil. El mensaje básico consiste de: un código de identificación, el cual es único para cada unidad móvil, un juego de identificadores de función, un campo de aplicación, un campo sensor y un campo de verificación de errores (Figura 2.5). Dependiendo del identificador de función, el campo de aplicación puede contener un mensaje alfanumérico, datos o comandos. El tiempo de sincronía es suministrado por la estación central. La longitud del campo de aplicación está limitada para cualquier mensaje, pero el sistema puede juntar muchos campos permitiendo mensajes completos de una longitud aceptable tanto para las centrales de despacho como para los móviles.

2.2.3 Frecuencias Utilizadas por el Sistema en Banda L.

Las frecuencias asignadas por la UIT al sistema de RDSS en banda L, son mostradas en la siguiente tabla:

FRECUENCIAS	ENLACE
1610.0-1626.5 MHz	MOVIL-SATELITE
2483.5-2500.0 MHz	SATELITE-MOVIL
5150.0-5216.0 MHz	SATELITE-CENTRAL
6525.0-6541.5 MHz	CENTRAL-SATELITE

Se hace notar que el uso de la bandas L es importante para los enlaces con las unidades móviles ya que, debido a la menor atenuación por espacio libre, repercute en el óptimo diseño de la antena (puede ser casi omnidireccional). En banda Ku, las antenas de los móviles tendrán que ser necesariamente directivas y deberán contar con un sistema de apuntamiento.

	DESCRIPCION DEL CAMPO	Nº DE BITS
↑ 1024 ↓	FEC	7
	CRC	16
	CAMPO DE APLICACION	VAR
	IDENTIFICADOR INTERNO	VAR
	CAMPO DE PROTOCOLO	4
	SELECTOR DE FORMATO	4
	DIRECCION FISICA	48
	DIRECCION DE ENRUTAMIENTO	24
	LONGITUD DEL PAQUETE	8
	SECUENCIA DE SINCRONIA	40960
SECUENCIA DE ADQUISICION	4108	

FIGURA 2.5 TRAMA PARA EL ENVIO DE MENSAJES

2.3 PUNTOS IMPORTANTES EN EL RDSS.

2.3.1 Rango.

El rango consiste en medir la distancia de la estación terrena al satélite en un instante determinado. El rango se calcula determinando el tiempo desde que la señal se emite en la estación terrena, hasta que regresa a ella una vez que fue retransmitida por el satélite; conociendo el tiempo se determina entonces la distancia. El sistema de RDSS que se implementará en México utilizará los satélites Morelos por lo que en los siguientes párrafos se describe brevemente su sistema de rango.

El sistema de rango utiliza tonos de baja frecuencia (24.3 KHz - 27.77 KHz) amarrados a través del satélite como un medio de determinar la distancia. Un dispositivo llamado "Procesador de Tonos de Rango (RTP)" genera los tonos en la estación terrena para su transmisión y recepción. La diferencia de fases entre un tono de audio transmitido y el tono de audio recibido a la estación terrena, es medida por el RTP en fracciones de longitud de onda, y utilizado para determinar el tiempo de ida y vuelta. Con este tiempo se calcula la distancia de la estación terrena al satélite.

El Procesador de Tonos de Rango opera bajo el control de una computadora, la cual controla la generación de los tonos, el tiempo de duración de cada uno de éstos, la secuencia de rango y realiza los procesos necesarios para convertir la medición de fase en la determinación de la distancia. Las frecuencias de tono utilizadas son mostradas a continuación:

TONO	TONO DE RANGO Hz	FRECUENCIAS TRANSMITIDAS Hz
1	27,777.77	27,777.77
2	8,472.22	24,305.55 Y 27,777.77
3	434.02	27,343.75 Y 27,777.77
4	54.25	27,723.52 Y 27,777.77

Al empezar la secuencia de rango, los tonos son enviados secuencialmente, iniciando con el tono más bajo. Un rango pronosticado es metido a la computadora para el calculo inicial. Esta medición y el rango promedio estimado es suficiente para resolver los problemas de aproximación, y así enviar el siguiente tono mayor. El proceso de rango entonces avanza sucesivamente al siguiente tono para obtener una mayor resolución.

2.3.2 Rastreo.

La función de rastreo determina la posición del satélite y es usada para predecir posiciones orbitales futuras, contar con datos para los comandos que mantienen la posición del satélite mediante sus cohetes, y para el apuntamiento de las antenas de las estaciones terrenas. Esta última aplicación es la más importante desde el punto de vista del RDSS, puesto que las antenas de las estaciones móviles requieren de un sistema de rastreo cuando operan en la banda Ku, ya que son directivas; en el caso de operar en la banda L, las antenas son omnidireccionales y no requieren de rastreo.

El rastreo consiste en determinar las coordenadas angulares del satélite para apuntar las antenas. El ángulo de elevación es el ángulo desde el plano del horizonte al satélite; el ángulo de azimuth es el ángulo desde el norte geográfico a la proyección de la dirección del satélite sobre el plano horizontal medido en el sentido de las manecillas del reloj.

La técnica de rastreo más simple consiste en monitorear el haz de interés del satélite y apuntar la antena donde exista el máximo nivel de potencia. Esta técnica es utilizada por las antenas de las unidades móviles del RDSS, así que deben contar con un sistema de rotación mecánica orientado electrónicamente al detectar la máxima intensidad de la señal.

2.3.3 Protocolos de Acceso Múltiple al Satélite.

En un sistema que solo tiene un canal de comunicación, el cual debe ser compartido eficiente y adecuadamente entre un gran número de usuarios no coordinados y ampliamente dispersos, se dificulta compartir el canal. A fin de resolver este problema, diversas técnicas han sido aplicadas. A continuación se describen las características más importantes de los sistemas Aloha y Aloha ranurado, que se utilizan en redes que cuentan con un gran número de usuarios y que transmiten ráfagas de tráfico de baja densidad, de una manera aleatoria y pseudoaleatoria, respectivamente.

SISTEMA ALOHA

Es el protocolo por el cual un número n de usuarios puede acceder aleatoriamente un recurso centralizado (por ejemplo, una computadora central) a través del satélite. En caso de que suceda una colisión de paquetes, las estaciones que en ella incurrieron retransmitirán el mensaje en un tiempo aleatorio (Figura 2.6). Sus principales ventajas son:

- La facilidad de difusión de información permite utilizar eficientemente el satélite.
- La red puede aumentar o disminuir elementos terminales sin que esto repercuta en una reestructuración del sistema.
- no requiere sincronización.

Sin embargo, presenta las siguientes desventajas:

- No existe privacidad del usuario.
- La colisión de paquetes puede retrasar aleatoriamente la transmisión de un mensaje.

SISTEMA DE ALOHA RANURADO

En este protocolo la probabilidad de interferencia entre paquetes decrece, pues se requiere que los usuarios solamente transmitan al inicio de intervalos discretos de tiempo (pseudoaleatoriamente), que corresponden a la longitud de un

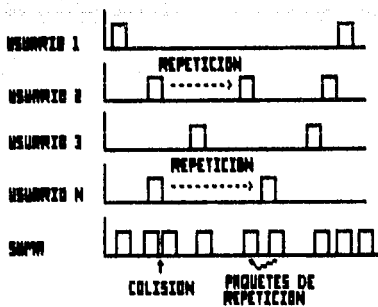
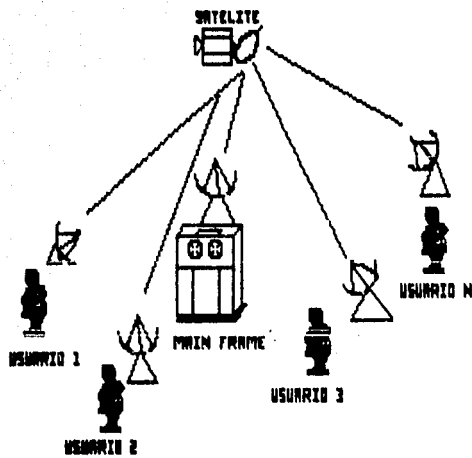


FIGURA 2.6 OPERACION DEL SISTEMA ALMA

paquete, por lo que se dice que el canal se ranura en tiempo. Este sistema presenta las siguientes ventajas:

- La utilización de la capacidad del canal se incrementa con respecto al sistema Aloha simple.
- Posibilidad de utilizar captura.

Y sus desventajas son:

- Complejidad de las estaciones terminales para sincronizar la referencia de tiempo y para compensar las variaciones de la distancia entre cada estación y el satélite.
- Desperdicio del recurso del satélite.

2.3.4 Técnicas de Corrección de Errores.

En un sistema de transmisión de datos es deseable incorporar técnicas de codificación dentro de la función de los modems, para reducir la razón Eb/No requerida para lograr un BER (Bit Error Rate) determinado. Esencialmente existen dos variantes de codificación para control de errores:

- Codificación que detecta errores en el trayecto de transmisión.
- Codificación que detecta y corrige los errores en la trayectoria de transmisión.

En el primer caso, el receptor no es capaz de corregir los errores, y tiene que enviar un mensaje al transmisor para que retransmita los paquetes o bloques detectados con error. Esta técnica se conoce como ARQ (Automatic Repeat Request). En el caso de comunicaciones por satélite la técnica es poco atractiva debido al retraso de la transmisión de ida y vuelta. Además, se requiere de un sistema de memoria cuando es necesaria la retransmisión de paquetes. Las ventajas de este sistema son:

- Probabilidad muy baja de errores no detectados.
- Efectividad de la técnica en casi todos los tipos de canales.

Sus desventajas son:

- Se requiere un canal auxiliar para la transmisión de las señales de control.
- Se puede presentar un retraso de decodificación variable.
- Se debe tener un control sobre la fuente de datos y, además, se debe contar con capacidad para almacenamiento de bloque en el transmisor.

En el segundo caso, llamado repetición de error por adelantado, el receptor utiliza los bits de redundancia para corregir los errores de la transmisión y reconstruir el mensaje original. A esta técnica se le conoce como Corrección Directa de Errores o FEC (Forward Error Correction). La técnica elimina el retraso de las retransmisiones y los requerimientos de un sistema de almacenamiento involucrados en la técnica ARQ, y su implementación no es muy complicada. Las ventajas principales del sistema FEC son las siguientes:

- No se requiere un canal de regreso para la transmisión de señales de control.
- Se puede tener un retraso total constante del sistema.

Sus principales desventajas, son:

- Dificultad en la selección del código de corrección de error, así como su algoritmo de decodificación, en caso de requerirse una alta confiabilidad en la retransmisión de datos.
- La confiabilidad de los datos transmitidos es altamente sensitiva a cualquier degradación de las condiciones del canal de transmisión.

CAPITULO 3

ELEMENTOS Y PRINCIPIOS DE OPERACION DEL RDSS.

El Servicio de Radiodeterminación por Satélite proporciona los siguientes servicios:

- a) Comunicación bidireccional de mensajes entre una central de despacho y sus unidades móviles.
- b) Determinación de posición de las unidades móviles.

Para la comunicación bidireccional se requiere de dos segmentos de transpondedor de un primer satélite, denominado satélite S₁, mientras que para complementar la función de determinación de posición se requiere de otro segmento en un segundo satélite, llamado satélite S₂. En la actualidad existen dos sistemas de RDSS, cuya diferencia consiste en la banda de frecuencia que utilizan. Uno de ellos utiliza la Banda L para los enlaces con los móviles. La fuerte demanda de servicios móviles ocasionó que se desarrollara otro sistema que utiliza la Banda Ku. Sin embargo, los sistemas son muy semejantes por lo que se puede hacer una descripción genérica del RDSS.

El sistema de RDSS está compuesto por cuatro elementos básicos:

- 3.1) Estación Terrena Central.
- 3.2) Centrales de Despacho.
- 3.3) Terminales Remotas en Unidades Móviles.
- 3.4) Segmento Espacial.

3.1 ESTACION TERRENA CENTRAL.

3.1.1 Configuración.

La Estación Terrena Central consta de dos secciones:

- Estación Principal.
- Estación Secundaria.

La estación principal maneja todo el proceso de comunicación de mensajes bidireccionales entre la estación central y las unidades móviles por medio del satélite S₁.

La estación secundaria se encarga de recibir las señales provenientes del satélite S₂, que permiten el monitoreo de la posición de las unidades móviles. La posición de éstas se calcula por medio de los retardos de propagación de la señal retransmitida por el satélite S₂ y las señales provenientes del satélite S₁; de esta manera, se obtienen las distancias de la unidad móvil a cada uno de los satélites y la estación central calcula la trayectoria de todos los puntos sobre la superficie terrestre que se encuentran a la misma distancia de cada satélite. Finalmente, la posición estimada es la intersección de estas dos curvas o trayectorias (ver el punto 2.2.1 y la figura 2.4a).

Cada una de las estaciones anteriores consta de los siguientes subsistemas:

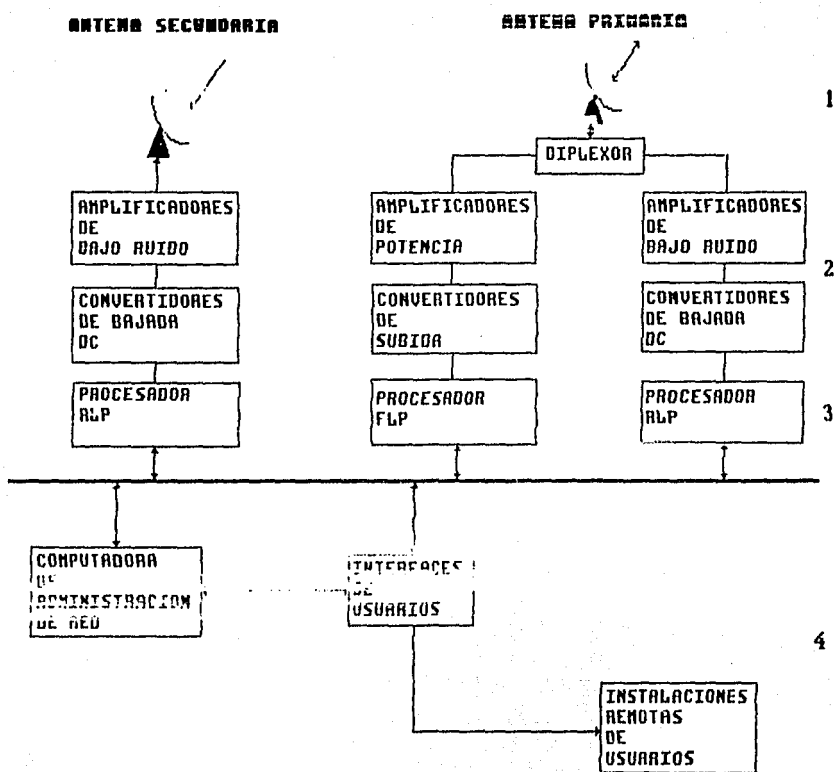
- Subsistema de Antenas
- Subsistema de Radiofrecuencia
- Subsistema de Procesamiento
- Subsistema de Administración y Control de la red

En la figura 3.1 se muestra el diagrama de bloques de la estación terrena central, indicando los subsistemas mencionados.

3.1.2 Funcionamiento.

Dos antenas constituyen el subsistema de antenas. Una pertenece a la estación secundaria, y únicamente recibe mensajes del satélite S₂. La otra, de mayores dimensiones y perteneciente a la estación principal, recibe/envía mensajes desde/hacia el satélite S₁.

El subsistema de radiofrecuencia de la estación principal consta de una sección de transmisión y una de recepción, mientras que en la estación secundaria únicamente se tiene una sección de recepción.



1 SUBSISTEMA DE ANTENAS

2 SUBSISTEMA DE RADIOFRECUENCIA

3 SUBSISTEMA DE PROCESAMIENTO

4 SUBSISTEMA DE ADMINISTRACION Y CONTROL DE LA RED

RLP PROCESADOR DE ENLACE DE RETORNO

FLP PROCESADOR DE ENLACE DE IDA

FIGURA 3.1 DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA ESTACION TERRENA CENTRAL

La sección de transmisión toma una señal en frecuencia intermedia. Esta señal proviene del procesador de enlace de ida (FLP), y es convertida a una señal de radiofrecuencia mediante un convertidor de subida. Posteriormente, la señal de radiofrecuencia, es amplificada por un HPA y es enviada a la antena para su transmisión al satélite S₁.

Cada sección de recepción toma de su respectiva antena una señal y, la amplifica mediante los convertidores de bajo ruido (LNC's). Estas señales pasan a un proceso de conversión de frecuencia por medio del convertidor de bajada. Estas señales son finalmente entregadas al procesador del enlace de retorno (RLP).

El subsistema de procesamiento consta de tres unidades: el procesador de enlaces de ida (FLP), el procesador de enlaces de retorno (RLP), que pertenecen a la estación principal y el procesador de enlaces de retorno de posicionamiento (PRLP) perteneciente a la estación secundaria.

El FLP convierte paquetes de comandos y de mensajes provenientes del subsistema de administración y control de la red, en una señal de datos codificados para su transmisión al satélite S₁. Esta señal, en frecuencia intermedia, es entregada al sistema de radiofrecuencia de la estación principal. El FLP también sirve como el sincronizador maestro del sistema, pues genera pulsos de sincronía, y realiza el conteo de tramas.

Tanto el RLP como el PRLP generan la misma señal de frecuencia intermedia, proveniente del subsistema de radiofrecuencia, en paquetes de mensajes para su transmisión al subsistema de administración y control de la red.

El subsistema de administración y control de la red, basado en una computadora, procesa datos, coordina la transmisión y recepción de mensajes, identifica y valida usuarios suscritos a la red, controla y administra todas las partes de la estación terrena, contabiliza el tráfico y el uso del sistema y lleva a

cabo los cálculos y algoritmos requeridos para la localización de las unidades móviles.

Maneja también las interfaces y modems que permiten a los suscriptores del servicio, conectarse a través de la red telefónica pública, microondas o enlaces VSAT, al subsistema de administración y control de la red, para transmitir y recibir mensajes hacia y de sus flotillas de unidades móviles, y determina la localización de éstas.

3.1.3 Descripción.

Subsistema de Antenas

Las antenas convierten las señales eléctricas a campos electromagnéticos polarizados y viceversa. Una antena transmisora está compuesta por un alimentador que emite las señales a un reflector parabólico, desde la cual el campo electromagnético es radiado. Una antena receptora tiene una superficie parabólica que enfoca un campo incidente a un alimentador colector, produciendo una señal eléctrica proporcional a la radiación incidente.

El subsistema de antenas está formado por una antena principal y una secundaria. La primera funciona tanto para transmitir como para recibir, y se utiliza para la comunicación bidireccional de mensajes; mientras que la segunda sólo funciona en recepción y es utilizada únicamente para la determinación de posición. La antena principal deberá también recibir señales para la determinación de posición ya que ésta se lleva a cabo mediante un rango múltiple por dos satélites; por lo que la antena principal será de mayores dimensiones.

Subsistema de Radiofrecuencia

El subsistema de radiofrecuencia consta de las siguientes unidades:

En la estación principal:

- Amplificadores de Alta Potencia (HPA).
- Amplificadores de Bajo Ruido (LNA).
- Convertidores de Subida.
- Convertidores de Bajada.

Y, en la estación secundaria:

- Amplificadores de Bajo Ruido (LNA).
- Convertidores de Bajada.

Todas las unidades están configuradas de manera redundante, como se muestra en la figura 3.2.

Cada HPA consta físicamente de dos unidades: la unidad de radiofrecuencia RF y la unidad de alimentación de energía del TWT.

La unidad RF contiene al TWT, un amplificador intermedio y otros. La unidad de alimentación de energía contiene a las fuentes de energía, circuitería de control y de protección. Las fuentes de poder deberán estar diseñadas para una operación continua.

Cada HPA cuenta además con aislamientos de entrada y salida de un alternador de entrada, que permite regular los niveles de potencia deseados a la salida. Se tiene además, un filtro de salida y circuitos de protección, control y monitoreo. El filtro de salida tiene una sección paso bajas, para atenuación de armónicas, y una sección paso altas para rechazo de bandas de recepción.

El convertidor de bajo ruido (LNC) de la estación principal es una configuración redundante de dos amplificadores de bajo ruido (LNA's).

Las señales provenientes del alimentador, pasan a través de un filtro de rechazo de transmisión hacia el LNC que se encuentre operando. La unidad de conmutación de protección, monitorea las condiciones de los LNA's, y si detecta alguna falla del LNA que se encuentra operando, automáticamente conmuta al LNA de respaldo.

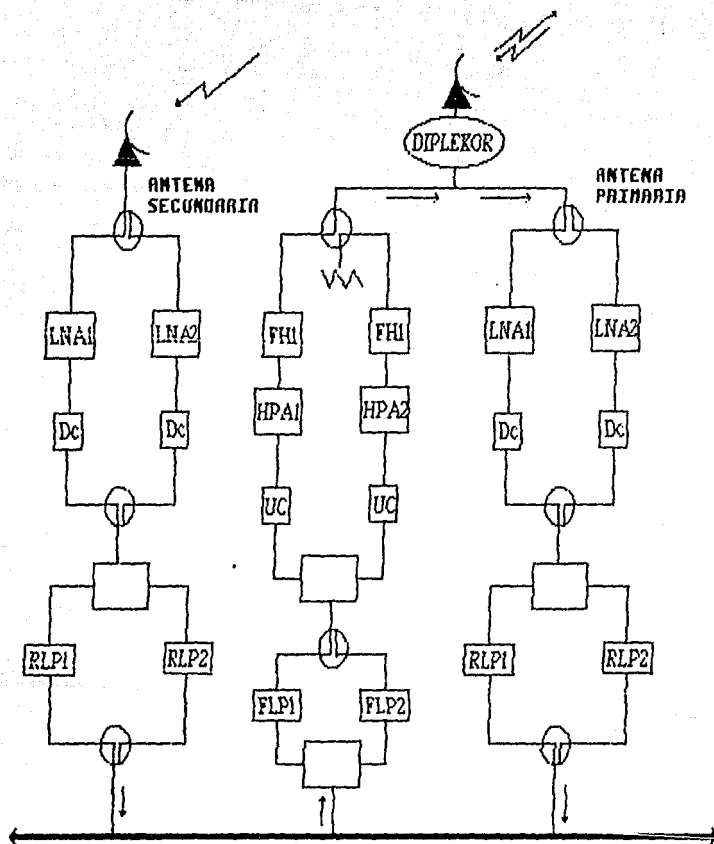


FIGURA 3.2 CONFIGURACION REDUNDANTE DE LA ESTACION CENTRAL

Normalmente, en las estaciones terrenas, la conmutación es efectuada automáticamente; no obstante algunas cuentan con comandos de conmutación manual que se proporcionan desde la sala de control del sistema.

Por su parte el LNC de la estación secundaria es similar al anterior y presenta también una configuración redundante.

Cada convertidor de subida tiene un sintetizador de microondas interno, que permite sintetizar la frecuencia de salida sobre la banda de radiofrecuencia. Cada uno toma una señal RF a la salida del FLP a la frecuencia intermedia. Esta misma señal, es entregada a la salida a una alta frecuencia, presentándose en el convertidor una etapa de amplificación. Esta señal es, a su vez entregada al amplificador de potencia HPA de la estación principal.

Cada convertidor de bajada tiene un sintetizador de microondas interno, que permite sintetizar la frecuencia de entrada sobre la banda de RF. El convertidor de bajada toma una señal RF a la salida del convertidor de bajo ruido LNC. Esta misma señal es entregada a frecuencia intermedia, presentándose en el convertidor una etapa de amplificación. Esta señal es entregada a la entrada del procesador del enlace de retorno (RLP) de la estación principal o al procesador de enlace de retorno de posicionamiento (PRLP), según el caso.

Subsistema de Procesamiento

El subsistema de procesamiento consta de las siguientes unidades:

En la estación principal:

- Procesador de enlaces de ida FLP
- Procesador de enlaces de retorno RLP.

Y, en la estación secundaria:

- Procesador de enlaces de retorno de posicionamiento PRLP

El procesador de enlaces de ida FLP convierte paquetes de comandos y de mensajes, provenientes del subsistema de administración y control de la red, en señales de datos codificados para su transmisión al satélite S₁, a través del convertidor de subida y del amplificador de potencia. El FLP también sirve como el sincronizador maestro del sistema, pues genera pulsos de sincronía, y realiza el control de instrucciones. Así mismo, este procesador produce la señal de enlace entre la estación central y las unidades móviles. Basado en una microcomputadora, que combina el tráfico de mensajes que van dirigidos a todos los usuarios utilizando para ello una multicanalización por división de tiempo. Los mensajes aunque combinados pueden ser direccionables a una o un grupo de unidades móviles.

El procesador de enlaces de retorno RLP ordena las transmisiones múltiples que llegan de las unidades móviles, las decodifica, las convierte en paquetes de mensajes y las envía a la computadora de administración y control. La entrada al RLP es una señal de frecuencia intermedia, que le entrega el convertidor de bajada.

Subsistema de Administración y Control de la Red

El subsistema de administración y control de la red consta de dos elementos:

- Computadora de administración de la red (Network Management Computer -NMC).
- Interfaces de usuarios.

La computadora de administración y control de la red NMC se comunica con el RLP, el FLP y con las interfaces de usuarios. Esta computadora realiza las siguientes funciones:

a) Administra los mensajes de ida (despachador a unidad móvil):

- Asigna y valida usuarios (despachadores).
- Acepta mensajes.
- Valida el destino de cada mensaje.

- Envía mensajes al FLP para su transmisión.
 - Almacena en disco el registro de "mensajes transmitidos", para posteriormente informar a los usuarios (despachadores).
 - Almacena información de contabilidad.
- b) Administra los mensajes de retorno (unidades móviles a despachadores):
- Recibe y almacena en disco, todos los mensajes de las unidades móviles, recibidos por el RLP.
 - Recibe y almacena en disco todos los reportes de posición de las unidades móviles.
 - Envía a los usuarios (después de que el despachador se conecta al sistema y lo solicita), todos los mensajes de las unidades móviles, reportes de posición, y registros de "mensajes transmitidos", almacenados en disco.
- c) Maneja las funciones de monitoreo del sistema.
- d) Maneja la contabilidad del sistema, generando bases de datos adecuadas para su análisis y realización de la cobranza.
- e) Determina la localización de las unidades móviles, llevando a cabo todos los cálculos y funciones de control.

El módulo de interfaces de usuarios les permite acceder al sistema, mediante diversas opciones convencionales, por medio de la red telefónica pública, línea privada, microondas, etc.

3.2 CENTRALES DE DESPACHO.

La central de despacho es la interface con la estación terrena central. Cada central de despacho cuenta con un enlace dedicado a través de línea telefónica, microondas, VSAT, etc., para conectarse directamente a la computadora del sistema. A través de ella, el despachador puede consultar la base de datos del sistema para poder conocer la posición de sus unidades móviles, recuperar los mensajes que éstas le hayan mandado o, en su defecto, mandarles un mensaje a una o a un grupo de ellas.

La terminal consta de una computadora personal, un modem y un paquete de programas, los cuales permiten un gran número de operaciones. Dentro de éstas destacan básicamente dos:

a) La de conocer la posición de sus unidades móviles, ya sea mediante un mapa digitalizado del terreno, o bien a través de una lista tabulada.

b) La de poder recibir y mandar mensajes de y hacia sus unidades móviles.

Aparte de estas dos operaciones, aunque estrechamente ligadas, existen los procedimientos de enrutamiento, monitoreo de velocidad, cálculo de distancia y estimación de tiempos de llegada a puntos específicos.

3.3 TERMINALES REMOTAS EN UNIDADES MOVILES.

3.3.1 Configuración.

La figura 3.3 muestra un diagrama de bloques funcional de la terminal remota. Esta consta de tres unidades que se instalan en los vehículos, y que en forma integrada, contienen todos los sistemas de la terminal. Estas tres unidades son:

- Unidad Externa
- Unidad de Comunicaciones
- Unidad de Despliegue

3.3.2 Funcionamiento.

Los usuarios suscritos al servicio, pueden enviar mensajes de texto, de formato libre o instrucciones codificadas, a cualquier unidad móvil, individualmente por su código, o por grupo de unidades móviles por el número de grupo, dentro de su flotilla.

La NMC de la estación central acepta mensajes de los usuarios, y los envía (vía satélite) al vehículo. La estación central luego espera un reconocimiento (vía satélite) de la

UNIDAD
EXTERNA

UNIDAD DE
COMUNICACIONES

UNIDAD DE
DESPLIEGUE

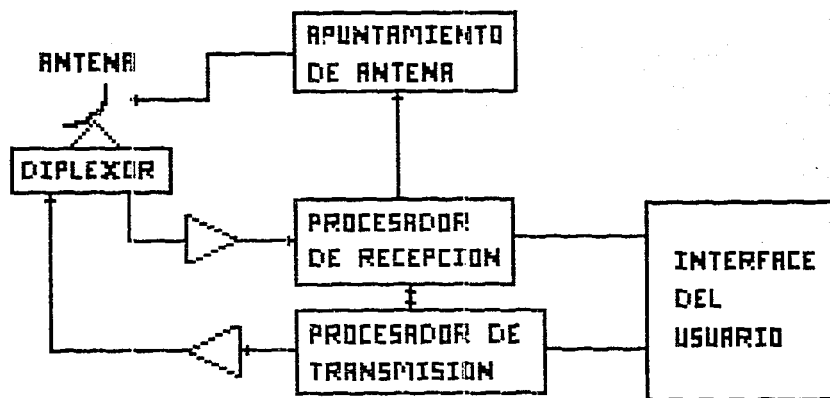


FIGURA 3.3 DIAGRAMA DE LA TERMINAL REMOTA

terminal remota, confirmando que el mensaje se recibió correctamente. Si no se recibe el reconocimiento, la estación central retransmite el mensaje hasta recibir confirmación.

Por su parte, cualquier terminal remota puede responder o iniciar un mensaje, de formato libre o de instrucciones codificadas, para enviar a la estación central. El vehículo espera confirmación de la estación central de que el mensaje fué recibido correctamente, en caso contrario, lo retransmite. El usuario podrá entonces extraer el mensaje de la NMC de la estación central.

En cada terminal remota hay un microprocesador que lleva a cabo todas las funciones de procesamiento de señales, adquisición de datos y demodulación. Un amplificador de bajo ruido y un convertidor de bajada convencional entregan al microprocesador una señal para la extracción y demodulación de los datos. En la etapa de transmisión un modulador y un proceso de conversión de subida proporcionan una señal de RF a un amplificador de potencia. Esta señal es luego transmitida por medio de la antena.

Cuando la unidad móvil no está sincronizada en recepción, ejecuta un algoritmo de adquisición-recepción hasta que se puedan demodular datos del satélite. En ese momento, la antena apuntará al satélite y se podrán recibir mensajes de la estación central. Cuando ésta lo ordene, la terminal remota podrá iniciar la transmisión de un mensaje.

3.3.3 Descripción.

Unidad Externa

La unidad externa consta de la antena y del equipo de radiofrecuencia que es, básicamente, un amplificador de bajo ruido y un convertidor de bajada, para la cadena de recepción, y un convertidor de subida y un amplificador de potencia, para la cadena de transmisión.

Cuando el sistema es en Banda L, las antenas de los móviles son omnidireccionales. Sin embargo, cuando el sistema es en Banda Ku, las antenas son direccionales; éstas son cornetas con una elevación fija y con movimiento en azimut proporcionado por un sistema sencillo de máximo nivel de potencia. Todas las antenas están cubiertas por un radomo de material dieléctrico para protegerlas del polvo y la lluvia.

La unidad externa puede montarse en el techo de un vehículo terrestre o nave marina.

Unidad de Comunicaciones

La unidad de comunicaciones contiene una sección analógica y una digital. Se puede instalar en cualquier parte del vehículo, pues no requiere acceso del operador. La unidad de comunicaciones realiza las siguientes funciones:

- Adquisición de la señal
- Demodulación
- Decodificación para la corrección de errores
- Síntesis de ondas
- Modulación y codificación
- Interface con la unidad de despliegue
- Interface con impresora
- Localización de posición

Unidad de Despliegue

Es la interface de la unidad móvil con el sistema. En ésta se despliegan, a través de una pantalla alfanúmerica, los mensajes recibidos de la estación central o el estado del sistema de la unidad móvil, tales como: Localización geográfica, número de mensajes recibidos que se transmitirán. Así mismo, cuenta con un teclado a través del cual el operador introduce los mensajes que desea transmitir hacia su central de despacho. Cuenta con teclado para funciones específicas programadas por el usuario. La pantalla

tiene indicadores para mensajes en espera, sincronización del satélite y potencia. La unidad se presenta en forma de tablero y se puede colocar en el interior del vehículo.

3.4 SEGMENTO ESPACIAL.

El sistema requiere de dos segmentos de transpondedor de un primer satélite (satélite S₁), para la transmisión de mensajes, y un segmento de transpondedor de un segundo satélite (satélite S₂), para complementar la función de determinación de posición.

3.4.1. Descripción.

Como se ha mencionado con anterioridad, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) asignó un ancho de banda muy limitado, en Banda L, a los servicios móviles por satélite, ocasionando que se incursionara en la Banda Ku. De esta manera se pueden tener dos sistemas de RDSS.

En el primero, los satélites son dedicados, esto es, están exclusivamente diseñados para ofrecer el servicio de RDSS. La tendencia de estos satélites en Estados Unidos, Europa y Australia, es utilizar la Banda C en el enlace con la estación terrena central, mientras que utilizan la Banda L en el enlace con los móviles, además de contar con haces múltiples. En estos sistemas se utilizan tres satélites y existe conmutación entre ellos cuando un móvil no tiene la mejor línea de vista con alguno de ellos, debido a obstáculos naturales, zonas urbanas o el follaje de los árboles.

En el segundo sistema, los satélites son domésticos y son compartidos por varios servicios, incluyendo el RDSS. Tanto en el enlace de ida como en el de retorno se utiliza la Banda Ku. El sistema que se propone en esta tesis corresponde a este tipo, utilizaría los satélites Morelos por lo que en capítulos posteriores se describe su sistema de comunicaciones en Banda Ku (ver apéndice C).

3.5 PRINCIPIOS DE OPERACION DEL RDSS.

3.5.1 Codificación y Modulación en el Enlace de Ida.

El enlace de ida es transmitido a las unidades móviles únicamente por el satélite S_1 y se origina en la estación terrena central, bajo forma de una señal de sincronización continua de alta frecuencia, es decir, esta es la señal portadora o código pseudoaleatorio, que proporciona las marcas de referencia de tiempo para la sincronización del sistema.

Los datos tienen una velocidad de información mucho menor que la velocidad del código pseudoaleatorio, y se duplica después de una codificación con corrección de errores (FEC -Forward Error Correction) de un medio. El tren de datos está formado por paquetes de mensajes direccionados a las unidades móviles, códigos de identificación de usuario y señalización. Esta señal es entonces expandida con CDMA utilizando el código pseudoaleatorio antes descrito (ver apéndice A).

Se puede concluir que la transmisión de la estación terrena central a todas las unidades móviles, está organizada dentro de una trama o estructura que corresponde exactamente al periodo de repetición de la secuencia pseudoaleatoria. Cada estructura contiene un número y un segmento de sincronización que sirven como marca de referencia para la respuesta de los usuarios móviles.

Las estructuras de datos pueden tener una longitud variable determinada por el tipo de terminal. Los mensajes consisten de paquetes de datos y pueden ser direccionados a un usuario particular, una flotilla de ellos o a todos.

3.5.2 Codificación y Modulación en el Enlace de Retorno.

El enlace de retorno es transmitido de las unidades móviles a la estación central por medio del satélite S_1 .

El enlace entre los usuarios móviles y la estación terrena central utiliza el mismo formato de estructuras del enlace de ida, y se origina en la unidad móvil, ya sea en respuesta de una llamada de la estación central, o por iniciativa del operador. Estos mensajes contienen la información del instante en el que la emisión fue transmitida (la marca de tiempo y el código de identificación de usuario), es decir, estas señales están sincronizadas con la señal continua proveniente de la estación central.

Los datos que transmite la unidad móvil están constituidos por peticiones de determinación de posición y mensajes cortos, que tienen una velocidad de información menor a la de los datos del enlace de ida, pero igualmente son codificados con un FEC de un medio y expandidos con CDMA utilizando el mismo código pseudoaleatorio. Entonces estas señales son retransmitidas hacia la estación terrena central por medio de los dos satélites S_1 y S_2 , denominándose entonces enlace de retorno y enlace de retorno de posicionamiento, respectivamente.

La respuesta iniciará en un instante preciso determinado por la marca de referencia de tiempo de una trama o estructura que contiene el código de identificación único del usuario que responde.

3.5.3 Codificación y Modulación en el Enlace de Posicionamiento.

El enlace de retorno de posicionamiento es transmitido de las unidades móviles a la estación central por medio del satélite S_2 .

La determinación de la posición de una unidad móvil se realiza, en la estación terrena central, con la medición del tiempo transcurrido entre la emisión de la llamada y la respuesta de la terminal por medio de los satélites S_1 y S_2 , o bien entre la señal de sincronización continua y la respuesta de la terminal.

La codificación y modulación de este enlace es idéntica a la del enlace de retorno de comunicaciones puesto que es la misma respuesta pero a través del satélite S2. La información que viaja por estos enlaces es básicamente una secuencia de pulsos sincronizados con los enlaces de transmisión de datos. Estos pulsos, junto con las señales de información, permiten a la estación central estimar el tiempo que transcurre desde que los pulsos son enviados hasta el momento en que son recibidos.

Para la determinación de la posición se utilizan las mediciones de distancia (rangos) efectuadas por la estación central, a partir de los retardos de propagación de las señales al recorrer las siguientes trayectorias (Figura 3.4):

T_1 = central - satélite S₁ - móvil - satélite S₁ - central.

T_2 = central - satélite S₁ - móvil - satélite S₂ - central.

De las mediciones de T_1 y T_2 , y con las distancias entre la central y los satélites S₁ y S₂, se obtienen las distancias d_1 y d_2 entre el móvil y cada uno de los satélites. La posición del móvil es obtenida por la intersección de dos curvas: la trayectoria de todos los puntos sobre la superficie terrestre que se encuentran a la distancia d_1 del satélite S₁, y la trayectoria de los puntos que se encuentran a la distancia d_2 del satélite S₂.

Una vez que la estación terrena determina la posición de una unidad móvil, transmite la localización, tanto a la central de despacho como a la unidad móvil.

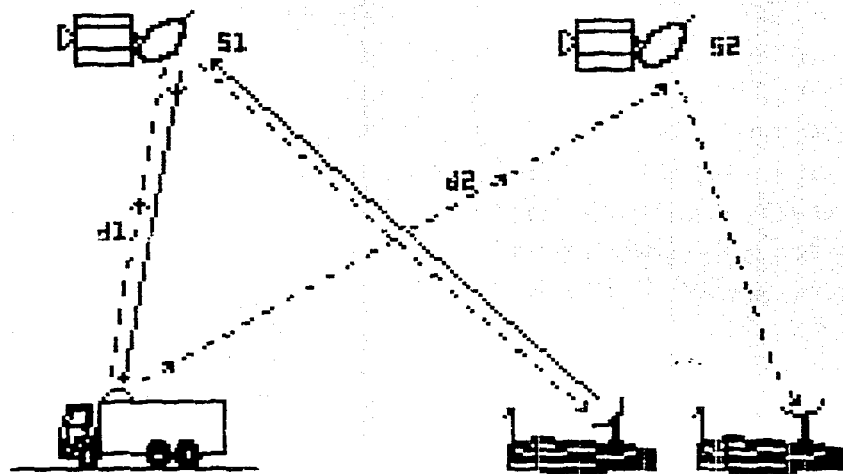


FIGURA 3.4 PRINCIPIO DE LOCALIZACION

CAPITULO 4

PARAMETROS DE DISEÑO DEL RDSS

La calidad de un enlace vía satélite se determina con el cálculo de la relación del nivel de la portadora entre el nivel de la potencia de ruido (Relación Portadora a Ruido).

En este capítulo se presentan las ecuaciones necesarias para el cálculo de la relación portadora a densidad de ruido total $(C/No)_{\text{TOT}}$. Dicho cálculo sigue una metodología básica, sin importar el servicio que se proporciona. Por consiguiente, las ecuaciones que a continuación se presentan, fueron utilizadas para el diseño del sistema de radiodeterminación por satélite. Los parámetros involucrados fueron descritos previamente en el capítulo 1.

4.1 RELACION PORTADORA A DENSIDAD DE RUIDO ASCENDENTE.

La relación portadora a densidad de ruido se determina mediante:

$$(C/No) = \text{PIRE} - L_s + (G/T) - K - M \text{ [dB-Hz]} \quad ..(1)$$

Donde:

- PIRE = Potencia isotrópica radiada equivalente de la estación transmisora.
- L_s = Pérdidas en el espacio libre.
- (G/T) = Figura de mérito de la estación receptora.
- K = $10 \log(1.38 \times 10^{-23}) = -228.6$ (Cte. de Boltzmann).
- M = Margen de atenuación por lluvia en la trayectoria de transmisión para la confiabilidad deseada.

Esta ecuación es válida, sustituyendo los valores de PIRE y (C/T) correspondientes, tanto en el enlace ascendente como descendente. Las unidades de los términos de la ecuación (1) deben ser consistentes conforme a la siguiente lista:

- (C/No)[dB-Hz]
- PIRE.....[dBW]
- L_s[dB]
- (G/T)[dB/K]
- K[dBJ/K]
- M[dB]

Para el enlace ascendente, la expresión (1) se modifica al introducir el concepto de densidad de flujo en saturación (definido en el punto 1.4.2) y que se expresa de la siguiente manera:

$$DFS = PIRE_{E/T} - L_s + 10 \log (4\pi/\lambda^2) \quad [dBW/m^2] \quad ..(2)$$

cuyos parámetros han sido definidos con anterioridad excepto λ , que es la longitud de onda de la señal.

Finalmente, la relación portadora a densidad de ruido ascendente se determina como:

$$(C/No)_{ASC} = DFS + (G/T)_{SAT} - 20 \log f + 207.15 - M_A \quad ..(3)$$

Donde:

DFS = Densidad de flujo de potencia para saturar el transpondedor del satélite.

$(G/T)_{SAT}$ = Figura de mérito del satélite.

- f = Frecuencia de la portadora [GHz].
- 207.15 = Constante que resulta de la suma de la constante de Boltzmann y de un parametro para ajustar las unidades a dB-Hz.
- M_A = Margen de atenuación ascendente por lluvia para la confiabilidad deseada.

Cuando se opera con varias portadoras en un mismo transpondedor, es necesario modificar la densidad de flujo de saturación. Esta modificación está en función de la fracción o porcentaje de potencia a utilizar. Entonces hay que considerar tanto al back-off de entrada (BOi) como al de salida (BOs), para trabajar en la región lineal del TWT de satélite. Dichos conceptos fueron definidos en el punto 1.4.5. La modificación se calcula entonces de la siguiente forma:

$$DFS_p = (DFS - BOi) + 10 \log z \quad [dBW/m^2] \quad ..(4)$$

Donde:

- DFS_p = Densidad de flujo de la portadora de interés.
- DFS = Densidad de flujo de saturación del transpondedor.
- BOi = Back-off de entrada al transpondedor del satélite.
- z = Fracción de potencia a utilizar del satélite.

Se hace notar que si se utilizan varias portadoras los términos de la ecuación (3) permanecen iguales, sustituyendo sólo a la DFS con la ecuación (4).

4.2 RELACION PORTADORA A DENSIDAD DE RUIDO DESCENDENTE.

De manera similar, la relación portadora a densidad de ruido descendente se determina mediante la expresión:

$$(C/N_0)_{DESC} = PIRE_{SAT} - L_s + (G/T)_{E/T} - K - M_D \quad [dB-Hz] \quad ..(5)$$

Donde:

$PIRE_{SAT}$ = Potencia isotrópica radiada equivalente del satélite.

L_s = Pérdidas en el espacio libre

$(G/T)_{E/T}$ = Figura de mérito de la estación terrena receptora

$K = 10 \log(1.38 \times 10^{-23}) = -228.6$ (Cte. de Boltzmann)

M_D = Margen de atenuación descendente por lluvia para la confiabilidad deseada.

Las pérdidas en el espacio libre en la trayectoria descendente se calculan de la siguiente forma:

$$L_s = 20 \log d + 20 \log f + 92.45 \quad [dB] \quad ..(6)$$

Donde:

d = Distancia de la estación terrena receptora al satélite [km].

f = Frecuencia de la portadora descendente [GHz].

Como en el caso del enlace ascendente, cuando se trabaja con varias portadoras en un mismo transpondedor, se utiliza sólo una fracción de la potencia y del ancho de banda del transpondedor. La modificación para el enlace descendente se realiza en la $PIRE$ del satélite para trabajar en la región lineal del TWT:

$$(PIRE_p)_{SAT} = PIRE_{SAT} - BO_0 + 10 \log z \quad [dBW] \quad ..(7)$$

Donde:

$(PIRE_p)_{SAT}$ = Potencia isotrópica radiada equivalente para la portadora de interés.

$PIRE_{SAT}$ = Potencia isotrópica radiada equivalente en saturación del transpondedor.

BDo = Back-off de salida del transpondedor.

z = Fracción de potencia a utilizar.

Sólo cuando se trabaja con varias portadoras, en la ecuación (5) se sustituye la $PIRE_{SAT}$ por la ecuación (7). Los demás parámetros permanecen iguales.

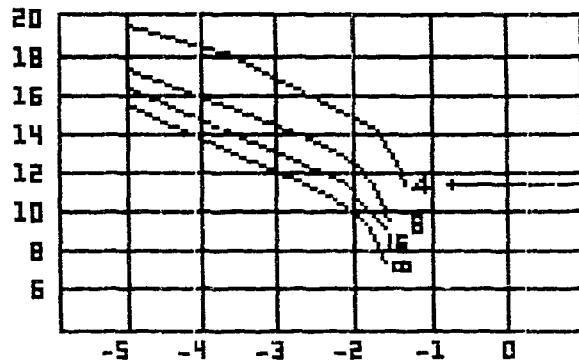
4.3 RELACION PORTADORA A DENSIDAD DE RUIDO DE INTERMODULACION.

Al trabajar con varias portadoras en un mismo transpondedor, se presentan productos de intermodulación entre aquéllas, que alteran la calidad del enlace, esto se debe a la característica de no linealidad del TWT (tubo de onda progresiva) del transpondedor del satélite. A estos productos se les denomina ruido de intermodulación.

En la gráfica de la figura 4.1 se observa que la relación portadora a ruido de intermodulación $(C/N)_I = (C/I)$ está en función del back-off de salida y que existe una curva para diferente número de portadoras. Además se aprecia que sus unidades son los dB. Para utilizar la relación portadora a densidad de ruido de intermodulación $(C/N_o)_I = (C/I_o)$ cuyas unidades son los dB-Hz, es necesario considerar al ancho de banda de la señal de interés con la siguiente expresión:

$$(C/N_o) = (C/N) + 10 \log BWIF \quad [dB-Hz] \quad ..(8)$$

RELACION PORTADORA/RUIDO DE
INTERMODULACION EN dB



NUMERO
DE
PORTADORAS

BACK-OFF DE SALIDA DE UN AMPLIFICADOR TWT
EN dB

FIGURA 4.1 RELACION PORTADORA/RUIDO DE INTERMODULACION EN
FUNCION DEL BACK-OFF PARA UN AMPLIFICADOR TWT

Donde:

(C/N_0) = Relación portadora a densidad de ruido [dB-Hz]

(C/N) = Relación portadora a ruido [dB]

BWIF = Ancho de banda de frecuencia intermedia de la señal de interés [Hz].

Esta ecuación es válida para todas las relaciones definidas en los puntos anteriores y para la siguiente. Sólo es necesario poner el subíndice adecuado (asc,dsc,I,tot)

4.4 RELACION PORTADORA A DENSIDAD DE RUIDO TOTAL.

La relación total del enlace se calcula considerando todos los efectos anteriores de la siguiente manera:

$$\left[\frac{C}{N_0} \right]_{\text{TOT}} = 10 \log \left[\frac{1}{\frac{1}{10 \left[\frac{(C/N_0)_{\text{asc}}}{10} \right]} + \frac{1}{10 \left[\frac{(C/N_0)_{\text{dsc}}}{10} \right]} + \frac{1}{10 \left[\frac{(C/N_0)_{\text{I}}}{10} \right]}} \right]$$

..(9)

Las unidades de $(C/N_0)_{\text{TOT}}$ son dB-Hz. Para obtener $(C/N)_{\text{TOT}}$ en dB, se utiliza la expresión (8).

Cabe mencionar que existen relaciones portadora a ruido por interferencia de canales vecinos, por satélites adyacentes y por polarización cruzada, pero su efecto es menos considerable que el ruido de intermodulación. Si se han de considerar, se pueden agregar a la ecuación (9), obteniendo en el denominador una sumatoria del recíproco del antilogaritmo de cada relación.

4.4.1 Relación de Energía por Bit a Densidad de Ruido.

En el caso de los enlaces digitales es necesario introducir los conceptos de relación de energía por bit (E_b) a densidad de ruido (N_0), y de tasa de error de bit (BER- del inglés Bit Error Rate) para poder cuantificar el funcionamiento del enlace digital.

La tasa de error de bit se define como la probabilidad de que exista un bit erróneo a la salida de un receptor. Así por ejemplo, si se tiene un $BER = 10^{-5}$, significa que existe la probabilidad de que haya un bit erróneo en una cadena de 100 000 bits transmitidos. Obviamente, a medida de que un sistema requiera un BER bajo, su costo y la complejidad del receptor aumentarán.

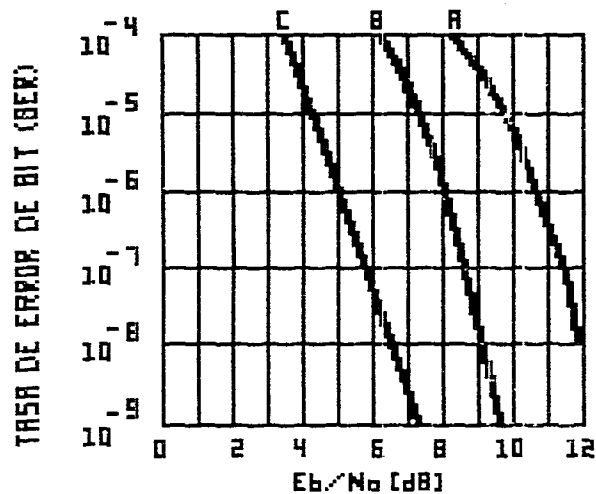
La energía por bit se define como la cantidad de energía necesaria para entregar un bit de información con la exactitud requerida (con el BER deseado), de ahí que dependa de la modulación y la técnica de corrección de errores empleadas. Se representa con la siguiente expresión:

$$E_b = \frac{C}{R_b} = \frac{\text{Potencia de la portadora}}{\text{Velocidad de Información}}$$

Para obtener la relación de energía por bit a densidad de ruido sólo es necesario dividir E_b entre N_0 :

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{C}{N_0 R_b} \quad \dots(10)$$

Sin embargo, en la práctica E_b/N_0 se obtiene mediante gráficas como la mostrada en la figura 4.2; existen gráficas para cada tipo de modulación y código de corrección de errores. Se observa que el dato de entrada es el BER requerido, se prolonga



CURVAS:

A: SIN CODIFICACION

B: CODIFICACION DE RELACION 3/4

C: CODIFICACION DE RELACION 1/2

MODULACION BPSK

FIGURA 4.2 MEJORA OBTENIDA CON EL EMPLEO DE DIFERENTES CODIGOS DE PROTECCION CONTRA ERRORES.

horizontalmente hasta tener una intersección con la curva que tenga la modulación y el código de corrección de errores utilizado en el sistema, y se desciende para obtener la relación buscada.

De la ecuación (10) se puede obtener la (C/N_0) total requerida en función de la relación E_b/N_0 :

$$(C/N_0)_{REQ} = (E_b/N_0) + 10 \log R_b + M_r [\text{dB-Hz}] \quad \dots(11)$$

Cuyas variables ya han sido definidas a excepción de M_r que es un margen de implementación de 1.0 dB-Hz.

La ecuación (11) es importante en el caso de que no se conozcan el número de portadoras a utilizar. La metodología para el cálculo del enlace será a la inversa, esto es, se empieza con la relación $(C/N_0)_{REQ}$, que coincide con el punto de operación del modem en la recepción, y se calculan los parámetros de la transmisión, entonces se recalculan las relaciones portadora a densidad de ruido ascendente, descendente y de intermodulación para obtener la relación $(C/N_0)_{TOT}$ con la ecuación (9), comenzando un proceso iterativo hasta que se cumpla la siguiente condición:

$$(C/N_0)_{TOT} \geq (C/N_0)_{REQ}$$

Esta condición garantiza el óptimo funcionamiento del enlace.

4.5 ECUACIONES PARA COMPLEMENTAR UN CALCULO DE ENLACE.

Hasta aquí se han presentado las ecuaciones para evaluar un enlace por satélite de manera conceptual en base a los parámetros definidos en el Capítulo 1. Sin embargo, cuando en la práctica se

calcula un enlace, se requiere además de un conjunto de parámetros que también afectan la calidad del enlace, tales como pérdidas en atenuadores, guías de onda, filtros, polarizadores, deficiencias en el apuntamiento de la antena, etc.

Por esta razón, a continuación se proporcionan diversas ecuaciones que, junto con otros parámetros (cuyos valores se establecen en hojas de especificaciones del equipo, en la práctica o por recomendaciones de organismos internacionales) determinan un enlace completo por satélite.

4.5.1 Distancia de la Estación Terrena al Satélite.

$$d = [(R + ASNM)^2 + (R + HD)^2 - 2(R + ASNM)(R + HD) \cos \beta]^{1/2} \quad \dots(12)$$

Donde:

R = Radio medio terrestre, 6 378 km.

ASNM = Altitud de la estación terrena (altura sobre el nivel mar) en km.

H = Distancia del Ecuador al satélite, 35 786 km.

$\cos \beta = \cos \gamma \cos (\Delta\delta)$

Siendo:

γ = Latitud de la estación terrena.

$$\Delta\delta = \delta_{E/T} - \delta_{SAT}$$

$\delta_{E/T}$ = Longitud de la estación terrena

δ_{SAT} = Longitud del satélite.

4.5.2 Angulos de Elevación y Acimut.

En el caso que los ángulos de elevación y acimut no sean conocidos (coordenadas necesarias para el apuntamiento de la antena de la estación terrena) se pueden calcular con las expresiones mostradas abajo. El ángulo de elevación es importante

pues entre menor sea, existe mayor ruido. Algunos parámetros se obtienen de tablas proporcionando este ángulo como entrada.

$$\text{ELEV} = \tan^{-1} \left[\frac{\cos(\Delta\delta) \cos \gamma - 0.15126}{(\sin^2(\Delta\delta) + \cos^2(\Delta\delta) \sin^2 \gamma)^{1/2}} \right] \quad \dots(13)$$

$$\text{ACINUT} = 180^\circ + \tan^{-1} \left[\frac{\tan(\Delta\delta)}{\sin \gamma} \right] \quad \dots(14)$$

4.5.3 Ancho de Banda Ocupado por la Señal en el Transpondedor.

En la transmisión se codifica en banda base tratando digitalmente los trenes de bits antes de la modulación. Con este tratamiento se añaden bits de control a los bits de información. De ahí que el ancho de banda de una señal resulte mayor que si únicamente se considera la velocidad de información. La siguiente ecuación sirve para obtener el ancho de banda de una señal modulada en BPSK o QPSK y utilizando la técnica FEC (Forward Error Correction) para corregir errores:

$$\text{BW} = R_b \frac{1}{\text{FEC}} (\text{FM}) (1.4) (1.14) \text{ [Hz]} \quad \dots(15)$$

Donde:

- BW = Ancho de banda de la señal codificada y modulada.
- R_b = Velocidad de información [kbps].
- FEC = Relación de FEC utilizada.
- FM = Factor de Modulación:
 1 para modulación BPSK
 0.5 para modulación QPSK.
- 1.4 = Factor de corrección por banda de guarda.
- 1.14 = Factor de corrección por filtrado.

Cuando se utiliza la técnica de CDMA para servicios móviles, este ancho de banda se incrementa de 10 a 100 veces debido a la velocidad del código pseudoaleatorio.

4.5.4 Pérdidas Diversas.

Estos parámetros varían según las aplicaciones y las recomendaciones que hacen organismos internacionales. A continuación se presenta una lista con los valores típicos que se han adoptado por su uso común en la práctica:

Pérdidas por absorción atmosférica:

Enlace Ascendente	0.1 dB
Enlace Descendente	0.1 dB

Pérdidas por Apuntamiento:

Enlace Ascendente	0.5 dB
Enlace Descendente	0.8 dB

Pérdidas por Polarizador:

Enlace Ascendente	0.2 dB
Enlace Descendente	0.5 dB

Estas pérdidas se restan en las ecuaciones (3) y (5) para encontrar las relaciones portadora a ruido ascendente y descendente de un enlace.

4.6 POTENCIA DE SALIDA DEL HPA DE LA ESTACION TERRENA TRANSMISORA.

La potencia en watts que debe entregar a la salida el amplificador de alta potencia HPA (del inglés High Power Amplifier), se puede calcular a partir de la densidad de flujo de potencia DFS_p requerida para un enlace específico, indicada en la ecuación (2). Para realizar este cálculo se procede de la siguiente manera:

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

- 1) Primero se calcula la PIRE entregada por la antena de la estación terrena:

$$PIRE_{E/T} = DFS_p + 10 \log 4\pi d^2 \quad \dots(16)$$

Donde:

- DFS_p = Densidad de flujo de la portadora de interés [dBW/m²].
 d = Distancia de la estación terrena al satélite [m].

- 2) Después se calcula la potencia del HPA en dBW en función de la $PIRE_{E/T}$.

$$HPA = PIRE_{E/T} - G_{ANT} + L_T + BO_{HPA} \quad \dots(17)$$

Donde:

L_T = Pérdidas en líneas de transmisión [dB].

BO_{HPA} = Back-off de salida del HPA [dB].

G_{ANT} = Ganancia de la antena transmisora.

$$G_{ANT} = 20 \log f + 20 \log D - 42.27 \quad [dBi] \quad \dots(18)$$

Siendo:

f = frecuencia de la portadora ascendente [MHz]

D = Diámetro de apertura de la antena [m]

Finalmente, se calcula la potencia del HPA en watts:

$$POT_{HPA} = 10 \left[\frac{HPA}{10} \right] \quad \dots(19)$$

4.7 EJEMPLO DE DISEÑO DEL RDSS.

La memoria técnica que se presenta a continuación ha sido realizada para calcular la relación $(C/N_0)_{TOT}$ para los tres tipos de enlace del sistema de RDSS: el enlace de ida entre la estación terrena central y el móvil, que puede estar en cualquier punto de la República; el enlace de regreso entre el móvil y la estación terrena central; ambos enlaces utilizan al satélite Morelos II, con segmentos de transpondedor diferentes. Y el enlace de retorno de posicionamiento que utiliza al satélite Morelos I. Los tres segmentos de transpondedor requeridos son en banda Ku.

Para fines de evaluar el comportamiento del sistema de RDSS en la República Mexicana, se realizó una memoria de cálculo completa para ciudades representativas de cada una de las siete zonas en que se divide el territorio nacional según los márgenes de atenuación por precipitación (Figura 4.3). Los cálculos se desarrollaron con el formato de la Solicitud de Permiso para Instalar y Operar una Red Privada de Comunicaciones de Voz, Datos y Videoconferencia a través de Enlaces Nacionales por Satélite de la Dirección General de Políticas y Normas de Comunicaciones de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. La memoria de cálculo que se presenta como ejemplo se realizó entre la estación terrena central (México, D.F.) y una unidad móvil que se encontrase en Tijuana, B.C.. Para realizar los cálculos con la unidad móvil, se considera que ésta permanece fija en un instante determinado.

Para todos estos cálculos se utilizó un programa de computadora para aumentar la confiabilidad de los mismos y facilitar su presentación.

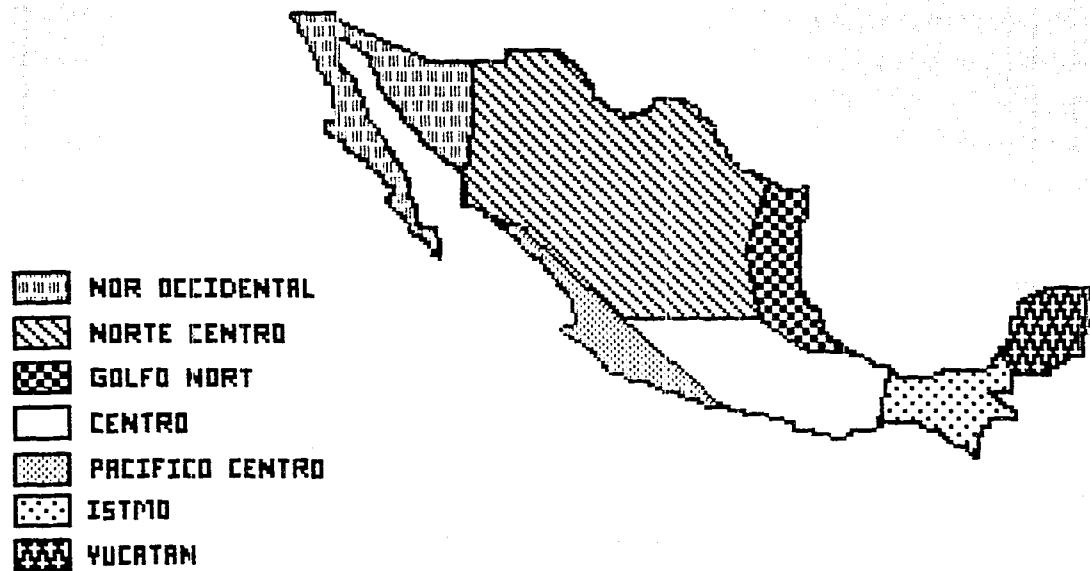


FIGURA 4.3 ZONAS GEOGRAFICAS PARA LA APLICACION DE LOS MARGENES DE LLUVIA.

4.7.1 Datos.

Enlace de Ida (Central-Móvil)

Datos Geográficos:

Transmite:	México D.F.	Recibe:	Tijuana, B.C.
Latitud	19.35° N		32.52° N
Longitud	99.01° W		117.03° W
ASNM	2.233 km		0.055 km

Datos de las Estaciones Terrenas:

Diámetro (antena)	5.6 m	(móvil)
Ganancia	57.2 dBi	20.4 dBi
$(\sigma/\tau)_{E/T}$	-	-5.00 dB/K
Frecuencias de operación	14.25 GHz	11.95 GHz
Margen por precipitación		
Tx	6.3 dB (Ma)	-
Rx	-	1.5 dB (Md)

Datos del Satélite:

DFS	-90.16 dBW/m ²	-
PIRE _{SAT}	-	44.25 dBW
$(\sigma/\tau)_{SAT}$	2.42 dB/K	-
Longitud satélite Morelos II	116.5° W	
Atenuador de posición	9.0 dB	
Back-Off in/out	8.0/4.5	

Datos de la Señal:

Confiabilidad deseada	99.90 %
BER	10 ⁻⁵
R _b	4 960 bps
V _{FN}	8.192 Mcps
Modulación	BPSK
FEC	1/2

Enlace de Regreso (Móvil-Central)

Datos Geográficos:

Transmite: Tijuana, B.C.
(IDEM)

Recibe: México, D.F.

Datos de las Estaciones Terrenas

Diámetro (antena)	(móvil)	5.6 m
Ganancia	21.8 dBi	55.5 dBi
$(\sigma/\tau)_{E/T}$	-	32.75 dB/K
Frecuencias de operación	14.25 GHZ	11.95 GHZ
Margen por precipitación		
Tx	3.5 dB (Ma)	-
Rx	-	4.3 dB (Ma)

Datos del Satélite:

NFS	-	-89.04 dBW/m ²
PIRE _{SAT}	47.25 dBW	-
$(\sigma/\tau)_{SAT}$	-	1.44 dB/K

Satélite Morelos II

Datos de la Señal:

Confiabilidad deseada	99.90 %
BER	10 ⁻⁵
Rb	256 bps
VFN	8.192 Mcps
Modulación	BPSK
FEC	1/2

Enlace de Regreso de Posicionamiento (Móvil-Central)

Datos Geográficos:

Transmite: Tijuana, B.C. Recibe: México, D.F.
 (IDEM)

Datos de las Estaciones Terrenas:

Diámetro (antena)	(móvil)	3.7 m
Ganancia	21.8 dBi	51.8 dBi
$(\frac{d}{r})_{E/T}$	-	27.47 dB/K
Frecuencias de operación	14.25 GHz	11.95 GHz
Margen por precipitación		
Tx	3.5 dB (Ma)	-
Rx	-	4.3 dB (Md)

Datos del Satélite:

DFS	-89.04 dBW/m ²	-90.16 dBW/m ²
PIRE _{SAT}	44.25 dBW	47.25 dBW
$(\frac{d}{r})_{SAT}$	1.44 dB/K	2.42 dB/K
Longitud satélite Morelos I	113.5° W	
Atenuador de posición	9.0 dB	
Back-Off in/out	8.0/4.5	

Datos de la Señal:

Confiabilidad deseada	99.90 %
BER	10 ⁻⁵
VINF	256 bps
VPN	8.192 Mcps
Modulación	BPSK
FEC	1/2

4.7.2 Cálculo de las Distancias y Angulos de Elevación y Acimut.

Sustituyendo los datos geográficos en la ecuación (12), se obtienen las distancias de las estaciones terrenas en Tijuana y el D.F. a cada uno de los satélites Morelos:

Distancia de México, D.F. al Satélite Morelos I:

$$d = [(6378 + 2.233)^2 + (42164)^2 - 2(6378 + 2.233)(42164)\cos \beta]^{1/2}$$

$$\cos \beta = \cos (19.35^\circ) \cos (99.01^\circ - 113.5^\circ)$$

$$d = 36\ 428.253 \text{ [km]}$$

Distancia de México, D.F. al Satélite Morelos II: 36 528.602 [km]

Distancia de Tijuana, B.C. al Satélite Morelos I: 36 957.096 [km]

Distancia de Tijuana, B.C. al Satélite Morelos II: 36 945.715 [km]

Para obtener las coordenadas de elevación y acimut de las antenas de las estaciones terrenas, necesarias para su adecuado apuntamiento, se sustituyen los datos geográficos en las ecuaciones (13) y (14), obteniendo la siguiente tabla:

E/T	Satélite	Elevación	Acimut
México	Morelos I	61.91°	142.05°
México	Morelos II	59.68°	136.44°
Tijuana	Morelos I	51.96°	186.55°
Tijuana	Morelos II	52.15°	180.99°

4.7.3 Enlace de Ida (Central-Móvil).

Como se explicó en el punto 4.4.1, la metodología para resolver un enlace digital cuando no se conoce el número de portadoras, es a la inversa, partiendo del BER requerido. Para el

RDSS se utiliza la modulación BPSK con codificación Viterbi y FEC de 1/2. La gráfica de BER vs E^b/N_0 para este esquema se presenta en la figura 4.4. De ahí se tiene que para un BER de 10^{-5} , utilizado por el RDSS, se obtiene una relación E^b/N_0 de 6.7 dB. Sin embargo, de la figura 4.2, se obtiene una E^b/N_0 de 9.7 dB al utilizar la misma modulación BPSK pero sin codificación. Este valor, por ser mayor, y el dato de la R_b en la estación terrena central se sustituyen en la ecuación (11):

$$(C/N_0)_{REQ} = (9.7) + 10 \log (4960) + 1.0$$

$$(C/N_0)_{REQ} = 47.65 \text{ [dB-Hz]}$$

Este valor es la relación portadora a densidad de ruido mínima que requiere el enlace y deberá coincidir con el punto de operación óptimo del modem en la recepción. Ahora se procede a calcular la $(C/N_0)_{TOT}$ iterando hasta que sea un poco mayor o igual que la relación requerida:

Enlace Descendente (Satélite-Móvil).

Para empezar la iteración se propone una $(C/N_0)_{TOT}$ de 48 dB-Hz (redondeando el valor al número entero siguiente). Por otra parte, en la práctica se ha encontrado que:

$$(C/N_0)_{DSC} = (C/N_0)_{TOT} + 3 \quad \dots(20)$$

Sustituyendo valores:

$$(C/N_0)_{DSC} = 48 + 3 = 51 \text{ [dB-Hz]}$$

Con este valor se despeja la $(PIRE_p)_{SAT}$ de la ecuación (5):

$$(PIRE_p)_{SAT} = (C/N_0)_{DSC} - (G/T)_{E/T} + L_s - 228.6 + M_D \text{ [dBW]} \quad \dots(21)$$

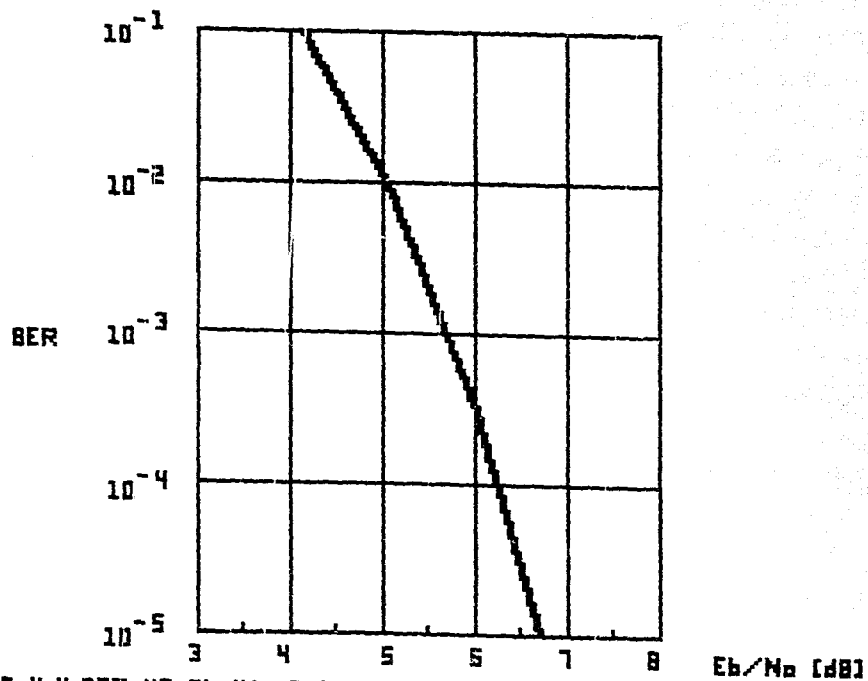


FIGURA 4.4 BER VS E_b/N_0 PARA MODULACION BPSK, CODIFICACION VITERBI Y FEC DE 1/2.

Para encontrar la figura de mérito de la unidad móvil, se requiere de la ganancia de la antena receptora y de la temperatura del sistema. Este tipo de enlace es para el servicio móvil, pues se considera que la unidad móvil es una estación terrena en movimiento. Así que la ganancia de la antena móvil se obtiene de las especificaciones que la UIT recomienda para el RDSS en Banda Ku:

$$G_{ANT} (Tx) = 20.4 \text{ [dBi]}$$

que corresponde a una antena parabólica de 11 cm de apertura.

La temperatura del sistema se obtiene con la definición proporcionada en el punto 1.4.5. Entonces se tiene que:

$$T = T_A + T_{LNA} + T_M$$

Sustituyendo los valores especificados por el fabricante:

$$T = 55 + 220 + 72 = 347 \text{ [K]}$$

En decibeles:

$$T_{SYS} = 25.4 \text{ [dB]}$$

Calculando ahora la figura de mérito:

$$(G/T)_{E/T} = G_{ANT} - T_{SYS} \text{ [dB/K]}$$

Sustituyendo valores:

$$(G/T)_{E/T} = 20.4 - 25.4 = -5.0 \text{ [dB/K]}$$

Las pérdidas en el espacio libre se obtienen con la ecuación (6):

$$L_s = 20 \log 36945.715 + 20 \log 11.95 + 92.45 \text{ [dB]}$$

$$L_s = 205.35 \text{ [dB]}$$

Con todos los datos necesarios para la ecuación (21) se tiene:

$$(PIRE_p)_{SAT} = 51 + 5.0 + 205.35 - 228.6 + 1.5 + 0.1 + 0.8 + 0.5$$

$$(PIRE_p)_{SAT} = 35.65 \text{ [dBW]}$$

La fracción de potencia a utilizar se puede encontrar despejando z de la ecuación (7):

$$z = \frac{1}{10} \left[\frac{(PIRE_p)_{SAT} - PIRE_{SAT} + BO_0}{10} \right] \quad \dots(22)$$

Sustituyendo valores:

$$z = \frac{1}{10} \left[\frac{35.65 - 44.25 + 4.5}{10} \right]$$

$$z = 0.3890$$

Enlace Ascendente (Central-Satélite).

Con la fracción anterior se puede obtener la (DFS_p) utilizando la ecuación (4):

$$DFS_p = -90.16 - 8 + 9 + 10 \log 0.389 = -93.26 \text{ [dBW/m}^2\text{]}$$

Entonces se puede hacer el calculo de la relación portadora a densidad de ruido ascendente a partir de la ecuación (3):

$$(C/N_0)_{ASC} = -93.26 + 2.42 - 20 \log 14.25 + 207.15 - 6.3 - 0.1 - 0.7$$

$$(C/N_0)_{ASC} = 86.13 \text{ [dB-Hz]}$$

Para encontrar la relación portadora a densidad de ruido de intermodulación se hace uso de la figura 4.1, con $BO_0 = 4.5$ y el número de portadoras = ∞ , se tiene que:

$$(C/I) \approx 15 \text{ [dB]}$$

Utilizando la expresión (8):

$$(C/I_0) = 15 + 10 \log (z \times 108 \times 10^6) = 91.71 \text{ [dB-Hz]}$$

Para obtener la $(C/No)_{TOT}$ se utiliza la ecuación (9):

$$\left[\frac{C}{No} \right]_{TOT} = 10 \log \left[\frac{1}{\frac{1}{10 \left[\frac{86.13}{10} \right]} + \frac{1}{10 \left[\frac{51.00}{10} \right]} + \frac{1}{10 \left[\frac{91.71}{10} \right]}} \right]$$

$$(C/No)_{TOT} = 50.99 \text{ [dB-Hz]}$$

Este valor se aleja más de un decibel del inicial (se propuso 48). Mediante un programa de computadora se puede iterar hasta que se encuentre el valor óptimo, en este caso:

$$(C/No)_{TOT} = 47.77 \text{ [dB-Hz]}$$

Que corresponde a un valor propuesto de $(C/No)_{DSC}$ de 47.78 dB-Hz.

Potencia del HPA de la Estación Terrena Transmisora

Primero se obtiene la PIRE de la estación terrena transmisora, en este caso la Central, con la ecuación (16):

$$PIRE_{E/T} = DFS_p + 10 \log 4\pi d^2$$

Sustituyendo:

$$PIRE_{E/T} = -96.48 + 10 \log (4\pi(36\ 528\ 602)^2)$$

$$PIRE_{E/T} = 65.76 \text{ [dBW]}$$

Con este valor se obtiene la potencia del HPA en dB a partir de la ecuación (17):

$$HPA = 65.76 - 57.20 + 3 = 11.56 \text{ [dBW]}$$

Finalmente, con la ecuación (18), se obtiene la potencia deseada en Watts:

$$POT_{HPA} = 10 \left[\frac{11.56}{10} \right]$$

$$POT_{HPA} = 14.32 \text{ [W]}$$

De manera similar al cálculo completo para el enlace de ida (central-móvil), se puede realizar el cálculo completo para el enlace de retorno (móvil-central) y para el enlace de retorno de posicionamiento. Se recalca que los dos primeros hacen uso del satélite Morelos II, mientras que el último utiliza al satélite Morelos I.

Los resultados para el enlace entre la Ciudad de México y un móvil que se encontrase en Tijuana se presentan a continuación. Utilizando el mismo programa se obtuvieron los resultados que se muestran en el apéndice B para otras seis ciudades.

4.7.3 Resultados Completos para el Enlace México-Tijuana.

Enlace de Ida (Central-Móvil).

Estación Terrena Transmisora	Central: México, D.F.
Estación Terrena Receptora	Móvil: Tijuana, B.C.
Diámetro de la Antena Transmisora	5.60 [m]
Ganancia de la Antena Transmisora	57.20 [dBi]
Ganancia de la Antena Receptora	20.40 [dBi]
Temperatura Total del Sistema Rx	25.40 [dBK]
Densidad de Flujo en Saturación (DFS)	-90.16 [dBW/m ²]
Atenuador de Posición	9.00 [dB]
Figura de Mérito del Satélite	2.42 [dB/K]
Frecuencias de operación	14.25/11.95 [GHz]
Back-off in/out	8.00/4.50 [dB]

Enlace Ascendente (Central-Morelos II).

Pérdidas por Absorción Atmosférica	0.10 [dB]
Pérdidas por Apuntamiento	0.50 [dB]
Back-off de entrada en el Transpondedor	8.00 [dB]
PIRE/Portadora desde la E.T.	65.76 [dBW]
Pérdidas por Espacio Libre	206.78 [dB]
Pérdidas por Polarizador	0.20 [dB]
Constante de Boltzman	-228.60 [dBW/K]
Margen por Precipitación	6.30 [dB]
Relación G/T del Transpondedor	2.42 [dB/K]
Relación C/No Ascendente	82.92 [dB-Hz]
Relación C/N Ascendente	10.75 [dB]
Relación C/I por Intermodulación en HPA	15.00 [dB]
Relación C/X por Polarización Cruzada	- -
Relación C/N Ascendente del Sistema	9.36 [dB]

 Potencia Nominal Requerida en el HPA

PIRE/Portadora desde la E.T.	65.76	[dBW]
Pérdidas en Guías de Onda	3.00	[dB]
Back-off de Salida	0.00	[dB]
Ganancia de la Antena en Transmisión	57.20	[dBi]
Pérdidas en Eficiencia por Edad	(en Ganancia Ant)	
Potencia Nominal Requerida/Portadora	11.56	[dBW]
Potencia Nominal Requerida/Portadora	14.32	[W]
Margen por Precipitación	6.30	[dB]
Potencia Requerida con Lluvia	61.16	[W]

 Enlace Descendente (Morelos II-Móvil).

Potencia Radiada en saturación por TP	44.25	[dBW]
Back-off de Salida	4.50	[dB]
PIRE/Portadora desde el Satélite	32.43	[dB]
Pérdidas por Espacio Libre	205.35	[dB]
Pérdidas por Apuntamiento	0.80	[dB]
Pérdidas por Polarizador	0.50	[dB]
Pérdidas por Absorción Atmosférica	0.10	[dB]
Margen por Precipitación	1.50	[dB]
Constante de Boltzman	-228.60	[dBW/K]
Figura de Mérito G/T de la E.T.	-5.00	[dB/K]
Relación C/No Descendente	47.78	[dB-Hz]
Relación C/N Descendente	-24.39	[dB]
Relación C/I por Intermodulación en TP	15.00	[dB]
Relación C/X por Satélites Adyacentes	35.00	[dB]
Relación C/N Descendente del Sistema	-24.39	[dB]

Factor de Calidad del Enlace Global

Relación C/No Total del Sistema	47.77	[dB-Hz]
Relación C/N Total del Sistema	-24.40	[dB-Hz]
Relación Eb/No Total del Sistema	9.82	[dB]
Eb/No Requerida (BER=10 ⁻⁵)	9.70	[dB]
Disponibilidad del Enlace	99.90	%

Rango a cada uno de los Satélites

Distancia Tijuana-Morelos 1	36 957.10	[km]
Distancia Tijuana-Morelos 2	36 945.72	[km]
Elevación (al Morelos 1)	51.96 ^o	
Acimut	186.55 ^o	
Elevación (al Morelos 2)	52.15 ^o	
Acimut	180.99 ^o	

 Enlace de Retorno (Móvil-Central).

Estación Terrena Transmisora	Móvil: Tijuana, B.C.
Estación Terrena Receptora	Central: México, D.F.
Diámetro Equivalente de la Antena Tx	0.11 [m]
Ganancia de la Antena Transmisora	21.80 [dBi]
Ganancia de la Antena Receptora	55.50 [dBi]
Temperatura Total del Sistema Rx	24.33 [dBK]
Densidad de Flujo en Saturación (DFS)	-89.18 [dBW/m ²]
Atenuador de Posición	9.00 [dB]
Figura de Mérito del Satélite	1.44 [dB/K]
Frecuencias de operación	14.25/11.95 [GHz]
Back-off in/out	8.00/4.50 [dB]

 Enlace Ascendente (Móvil-Morelos II).

Pérdidas por Absorción Atmosférica	0.10 [dB]
Pérdidas por Apuntamiento	0.50 [dB]
Back-off de entrada en el Transpondedor	8.00 [dB]
PIRE/Portadora desde la E.T.	20.80 [dBW]
Pérdidas por Espacio Libre	206.88 [dB]
Pérdidas por Polarizador	0.20 [dB]
Constante de Boltzman	-228.60 [dBW/K]
Margen por Precipitación	3.50 [dB]
Relación G/T del Transpondedor	1.44 [dB/K]
Relación C/No Ascendente	39.67 [dB-Hz]
Relación C/N Ascendente	-32.50 [dB]
Relación C/I por Intermodulación en HPA	15.00 [dB]
Relación C/X por Polarización Cruzada	- -
Relación C/N Ascendente del Sistema	-32.50 [dB]

 Potencia Nominal Requerida en el HPA

PIRE/Portadora desde la E.T.	20.80	[dBW]
Pérdidas en Guías de Onda	2.00	[dB]
Back-off de Salida	0.00	[dB]
Ganancia de la Antena en Transmisión	21.80	[dBi]
Pérdidas en Eficiencia por Edad	(en Ganancia Ant)	
Potencia Nominal Requerida/Portadora	1.00	[dBW]
Potencia Nominal Requerida/Portadora	1.26	[W]
Margen por Precipitación	3.50	[dB]
Potencia Requerida con Lluvia	2.82	[W]

 Enlace Descendente (Morelos II-Central).

Potencia Radiada en saturación por TP	47.25	[dBW]
Back-off de Salida	4.50	[dB]
PIRE/Portadora desde el Satélite	-10.65	[dB]
Pérdidas por Espacio Libre	205.25	[dB]
Pérdidas por Apuntamiento	0.80	[dB]
Pérdidas por Polarizador	0.50	[dB]
Pérdidas por Absorción Atmosférica	0.10	[dB]
Margen por Precipitación	4.30	[dB]
Constante de Boltzman	-228.60	[dBW/K]
Figura de Mérito G/T de la E.T.	31.17	[dB/K]
Relación C/N ₀ Descendente	38.17	[dB-Hz]
Relación C/N Descendente	-34.00	[dB]
Relación C/I por Intermodulación en TP	15.00	[dB]
Relación C/X por Satélites Adyacentes	35.00	[dB]
Relación C/N Descendente del Sistema	-34.00	[dB]

Factor de Calidad del Enlace Global

Relación C/No Total del Sistema	35.85	[dB-Hz]
Relación C/N Total del Sistema	-36.32	[dB-Hz]
Relación Eb/No Total del Sistema	10.77	[dB]
Eb/No Requerida (BER=10 ⁻⁵)	9.70	[dB]
Disponibilidad del Enlace	99.90	%

 Enlace de Retorno de Posicionamiento (Móvil-Central).

Estación Terrena Transmisora	Móvil: Tijuana, B.C.	
Estación Terrena Receptora	Central: México, D.F.	
Diámetro Equivalente de la Antena Tx	0.11	[m]
Ganancia de la Antena Transmisora	21.80	[dBi]
Ganancia de la Antena Receptora	51.80	[dBi]
Temperatura Total del Sistema Rx	24.33	[dBK]
Densidad de Flujo en Saturación (DFS)	-89.18	[dBW/m ²]
Atenuador de Posición	9.00	[dB]
Figura de Mérito del Satélite	1.44	[dB/K]
Frecuencias de operación	14.25/11.95	[GHz]
Back-off in/out	8.00/4.50	[dB]

 Enlace Ascendente (Móvil-Morelos I).

Pérdidas por Absorción Atmosférica	0.10	[dB]
Pérdidas por Apuntamiento	0.50	[dB]
Back-off de entrada en el Transpondedor	8.00	[dB]
PIRE/Portadora desde la E.T.	20.80	[dBW]
Pérdidas por Espacio Libre	206.88	[dB]
Pérdidas por Polarizador	0.20	[dB]
Constante de Boltzman	-228.60	[dBW/K]
Margen por Precipitación	3.50	[dB]
Relación G/T del Transpondedor	1.44	[dB/K]
Relación C/No Ascendente	39.66	[dB-Hz]
Relación C/N Ascendente	-32.51	[dB]
Relación C/I por Intermodulación en HPA	15.00	[dB]
Relación C/X por Polarización Cruzada	-	-
Relación C/N Ascendente del Sistema	-32.51	[dB]

Potencia Nominal Requerida en el HPA

PIRE/Portadora desde la E.T.	20.80	[dBW]
Pérdidas en Gulas de Onda	2.00	[dB]
Back-off de Salida	0.00	[dB]
Ganancia de la Antena en Transmisión	21.80	[dBi]
Pérdidas en Eficiencia por Edad	(en Ganancia Ant)	
Potencia Nominal Requerida/Portadora	1.00	[dBW]
Potencia Nominal Requerida/Portadora	1.26	[W]
Margen por Precipitación	3.50	[dB]
Potencia Requerida con Lluvia	2.82	[W]

Enlace Descendente (Morelos I-Móvil).

Potencia Radiada en saturación por TP	47.25	[dBW]
Back-off de Salida	4.50	[dB]
PIRE/Portadora desde el Satélite	-10.65	[dB]
Pérdidas por Espacio Libre	205.23	[dB]
Pérdidas por Apuntamiento	0.80	[dB]
Pérdidas por Polarizador	0.50	[dB]
Pérdidas por Absorción Atmosférica	0.10	[dB]
Margen por Precipitación	4.30	[dB]
Constante de Boltzman	-228.60	[dBW/K]
Figura de Mérito G/T de la E.T.	27.47	[dB/K]
Relación C/No Descendente	34.49	[dB-Hz]
Relación C/N Descendente	-37.68	[dB]
Relación C/I por Intermodulación en TP	15.00	[dB]
Relación C/X por Satélites Adyacentes	35.00	[dB]
Relación C/N Descendente del Sistema	-37.68	[dB]

Factor de Calidad del Enlace Global

Relación C/No Total del Sistema	33.34	[dB-Hz]
Relación C/N Total del Sistema	-38.83	[dB-Hz]
Relación Eb/No Total del Sistema	8.28	[dB]
Eb/No Requerida (BER=10 ⁻⁵)	9.70	[dB]
Disponibilidad del Enlace	99.80	%

4.7.5 Análisis de Resultados.

Con los listados proporcionados en el Apéndice B se puede hacer un análisis del comportamiento del sistema propuesto de RDSS en la República Mexicana:

En el enlace de ida (Central-Móvil), no hay mayor problema con el enlace ascendente pues resulta ser un enlace de conexión para servicio fijo convencional. El problema está en el enlace descendente, enlace satélite-móvil. Como la ganancia de las antenas receptoras en los móviles es baja, se tiene una figura de mérito negativa, produciendo una relación $(C/N)_{desc}$ negativa.

En los enlaces de retorno y de retorno de posicionamiento el problema de nueva cuenta son los enlaces móviles, en estos casos, los enlaces ascendentes móvil-satélite. Los enlaces satélite-central son enlaces convencionales de conexión. La ganancia de las antenas transmisoras y la potencia del HPA de las unidades móviles son bajas, ocasionando una PIRE de la estación terrena móvil baja y de esta manera se tiene una relación $(C/N)_{asc}$ negativa. Los enlaces de retorno y de retorno de posicionamiento son prácticamente idénticos, las principales diferencias son que uno utiliza al satélite Morelos II y el otro al morelos I, además de que las estaciones terrenas centrales respectivas son la Estación Central Principal (antena de 5.6 m) y la Estación Terrena Secundaria (antena de 3.7 m).

Un punto importante es que un sistema de RDSS deberá tener velocidades de información bajas en banda Ku (4960 bps en el enlace de ida y 256 bps en el enlace de retorno) para no tener que requerir de una PIRE en el satélite excesiva. En los sistemas de RDSS en banda L la velocidad de información puede ser mayor.

Por último, si el HPA de la Central trabajase con el punto de operación requerido para cada una de las zonas geográficas del

País en condiciones de lluvia, en muchos casos estaría muy sobrado. Cuando se opera en condiciones de cielo despejado, la confiabilidad de cada zona alcanza, al menos, la deseada (99.90 %). Si se trabaja con las condiciones de potencia requerida para Tijuana, se puede tener la confiabilidad deseada en la mayor parte del Territorio Nacional conforme a la siguiente tabla:

Zona Geográfica	Confiabilidad
Nor Occidental	99.90 %
Norte Centro	99.95 %
Golfo Norte	99.80 %
Centro	99.90 %
Pacífico Centro	99.80 %
Istmo	99.80 %
Yucatán	99.50 %

Los valores mostrados arriba se obtuvieron de los cálculos realizados en el Apéndice B.

CAPITULO 5

CONSIDERACIONES DE IMPLEMENTACION DEL RDSS EN MEXICO

5.1 PERMISOS PARA LA INSTALACION Y OPERACION DE ESTACIONES TERRENAS.

Los permisos para la instalación y operación de estaciones terrenas de comunicación por satélite están estipulados en el Capítulo 5 del Reglamento de Telecomunicaciones de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. El capítulo consta de tres secciones, las cuales se resumen a continuación:

5.1.1 Disposiciones Generales.

Esta sección trata de la documentación que deberá presentar el solicitante, es decir, el proyecto técnico donde indicará el satélite, la capacidad del segmento espacial y el tipo de señal que utilizará, así como el área de cobertura y el tipo de servicios que ofrecerá, además de un estudio de mercado.

5.1.2 Tipos de Permisos.

Esta sección establece esencialmente dos tipos de permisos: para enlaces internacionales y para enlaces nacionales; el primero se aplica cuando los servicios públicos que requieren enlaces internacionales, no pueden ser proporcionados a través de las estaciones terrenas propiedad del Estado. El segundo, se aplica para establecer, operar y explotar estaciones terrenas para enlaces nacionales por satélite, que comprende estaciones terrenas para redes privadas, redes públicas, para difundir señales de radio y televisión, y para servicios móviles por satélite, entre otros.

5.1.3 Instalación y Operación.

Esta sección indica, entre otros puntos, que la Secretaría

otorgará el permiso para la instalación y operación cuando se hayan satisfecho las condiciones previstas en las normas técnicas. Los permisionarios deberán notificar cualquier modificación en el tipo de servicio o cambio de ubicación de una estación terrena para su autorización, y deberán asegurarse que no causarán interferencias a otros servicios que compartan la banda de frecuencias con la misma categoría, protegiendo la operación de servicios de categoría superior.

5.2 ESTUDIO DE MERCADO.

Diversos estudios de mercado realizados en Estados Unidos y Francia demostraron la demanda real de un servicio de RDSS para Norteamérica y Europa. En 1990, en los Estados Unidos, dos mil tractocamiones utilizaban un servicio preoperacional de radiodeterminación en banda L y siete mil vehículos lo hacían en banda Ku.

En Europa, tras una encuesta realizada que abarcó a más de dos mil empresas de transporte, se espera un mercado capturable de 400,000 a 800,000 móviles después de seis años de servicio.

A continuación se presenta un estudio de mercado que proporciona algunos resultados para México.

5.2.1 Metodología.

La metodología desarrollada al investigar el mercado fué la siguiente:

a) Se evaluó la estructura general del mercado de los servicios de transportación, definiendo los segmentos que lo integran y las necesidades de comunicación de los mismos.

b) Se establecieron las dimensiones y características del mercado potencial (número total de vehículos terrestres, marítimos y aéreos registrados) mediante estadísticas oficiales del

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

c) Se identificó al mercado objetivo mediante ajustes realizados al mercado potencial. Se define al mercado objetivo como la fracción del mercado potencial para la cual el RDSS resulta una alternativa viable de comunicación desde los puntos de vista operativo y económico.

d) Se efectuó un muestreo entre algunos posibles usuarios tales como líneas de autobuses de pasajeros, fletes y mudanzas, compañías de transporte público federal, compañías de transporte privado con grandes flotas.

e) Se proyectó el mercado capturable a partir del mercado objetivo y de los resultados del muestreo de usuarios.

El mercado potencial de usuarios del RDSS comprende a los proveedores del servicio de transportación foránea de carga o de pasajeros (públicos y privados), éstos incluyen a:

- Autotransportes.
- Ferrocarriles.
- Embarcaciones costeras.
- Aeronaves.

Según los estudios realizados en Estados Unidos y Francia, el 90 % del mercado lo constituye la transportación terrestre (esencialmente los tractocamiones), es por eso que este estudio sólo se centra en la transportación terrestre, además de que se ha considerado que el RDSS no tiene un competidor en el sector carretero: como se detalló en el capítulo 2, existen servicios de navegación muy precisos, como el GPS, y servicios de radiomensajería unilateral, pero el RDSS es único porque proporciona conjuntamente mensajes bidireccionales y determinación de la posición de los móviles.

Los sectores marítimo y aéreo sí poseen sistemas sofisticados de comunicación y navegación, por ello no se consideraron. El mercado del sector aéreo es despreciable en comparación con el terrestre, mientras que el mercado del sector marítimo, de casi un 10 %, es difícil que sea capturable a corto plazo.

5.2.2 Estadísticas.

El sector de transporte carretero representa al mercado potencial más grande para los sistemas de RDSS, tanto por su tamaño como por los beneficios que puede proporcionar. El transporte privado se refiere a las empresas privadas que transportan sus productos en vehículos de la misma empresa. El transporte público federal se refiere a todos los transportistas registrados ante la Secretaría de Comunicaciones y Transportes que prestan servicios públicos de carga en general.

La tabla 5.1 muestra que en el año de 1989 existían un total de 8,764,175 vehículos circulando por el país. De ese total, 2,696,344 eran camiones de carga y de pasajeros, número que representa el mercado potencial del sector carretero para el sistema de RDSS en México.

La tabla 5.2 muestra los ajustes realizados sobre el mercado potencial para obtener el mercado objetivo.

La primera columna de esta tabla muestra el total de camiones en circulación en 1988, distribuidos según las siete principales categorías de camiones: Comerciales (hasta 3,000 Kg), Ligeros (de 3,000 a 5,000 Kg), Medianos (de 5,000 a 9,000 Kg), Pesados (de 9,000 a 13,500 Kg), Chasis, Tractocamiones y Autobuses.

De la totalidad del mercado potencial hay que restar 1,532,112 camiones comerciales, los cuales circulan principalmente dentro de ciudades. También hay que eliminar a la totalidad de camiones ligeros y medianos que no son considerados como usuarios potenciales del servicio de RDSS. Por último, para obtener la

CONCEPTO	1986	1987	1988	1989
AUTOMOVILES	5 202 922	5 336 228	5 806 984	6 067 831
Oficiales	23 528	23 786	23 513	25 395
De servicio publico	178 686	194 746	214 349	225 267
Particulares	5 000 708	5 117 696	5 569 122	5 817 169
CAMIONES PARA PASAJEROS	83 373	84 364	86 566	90 154
Oficiales	1 788	1 820	1 867	2 115
De servicio publico	71 360	72 255	73 967	77 029
Particulares	10 225	10 289	10 732	11 010
CAMIONES PARA CARGA	2 213 025	2 292 078	2 435 952	2 606 190
Oficiales	10 058	10 288	10 560	11 427
De servicio publico	81 903	83 960	86 928	89 717
Particulares	2 121 064	2 197 830	2 338 444	2 505 046
TOTAL DE VEHICULOS	7 499 320	7 712 670	8 329 502	8 764 175

TABLA 5.1 VEHICULOS REGISTRADOS, SEGUN TIPO Y USO 1986-1989.

CATEGORÍAS	MERCADO POTENCIAL	AJUSTE COMERCIALES	AJUSTE LIGEROS	AJUSTE MEDIANOS	AJUSTE ANTERIORES A '79	MERCADO OBJETIVO
COMERCIALES	1 532 112					
LIGEROS	395 383	395 383				
MEDIANOS	3 679	3 679	3 679			
PESADOS	261 828	261 828	261 828	261 828		
CHASIS	52 215	52 215	52 215	52 215	159 841	159 841
TRACTOCAM.	54 512	54 512	54 512	54 512	31 529	31 529
AUTOBUSES	84 588	84 588	84 588	84 588	33 031	33 031
TOTAL	2 384 317	852 205	456 822	433 143	236 124	236 124

TABLA 5.2 OBTENCION DEL MERCADO OBJETIVO.

cifra del mercado objetivo, es necesario descontar las unidades fabricadas antes de 1980.

La tabla 5.3 muestra la longitud total de carreteras en la República Mexicana, datos útiles ya que en las centrales de despacho de los usuarios, se deberá tener una microcomputadora cuya pantalla mostrará las unidades móviles sobre un mapa digitalizado del terreno.

El sector ferroviario en México, si bien se ha modernizado en los últimos años, se ha mantenido rezagado. La posible adopción del sistema de RDSS contribuirá con dicha modernización. Las locomotoras serán las principales captadoras del RDSS.

La tabla 5.4 indica que, en 1989 existían 1,772 locomotoras y 26,510 Km de vías férreas. El ajuste que se debe realizar sobre el mercado potencial en el sector ferroviario es considerar sólo las locomotoras en buen estado.

La cuantificación final del mercado objetivo indica que el segmento carretero se compone de aproximadamente 224,000 camiones de carga y 12,000 autobuses de pasajeros. En esta cantidad de vehículos no se ha considerado unidades anteriores a 1980, ni vehículos de carga ligeros. El segmento ferroviario está compuesto por 1,250 locomotoras en buen estado de un total de 1,772.

5.2.3 Resultados.

Los resultados del muestreo realizado entre usuarios potenciales indicaron que los criterios en que se basan para la adopción del sistema son los siguientes:

- Disponibilidad: Para la mayoría de los usuarios una disponibilidad del 95 % resulta satisfactoria aunque el diseño excede esa cifra. Además, posiciones calculadas para cada unidad móvil son suficientes si se realizan entre cada media hora o cada hora.

CONCEPTO	1986	1987	1988	1989
CARRETERAS PRINCIPALES				
Total	45 661	46 143	46 718	48 164
Terraceria	245	147	326	352
Revestidas	2 796	2 538	1 795	1 916
Pavimentadas	42 620	43 458	44 597	45 896
Dos carriles	39 988	40 088	41 085	42 160
Cuatro o mas carril.	2 632	3 370	3 512	3 736
CARRETERAS SECUNDARIAS				
Total	58 429	59 622	59 724	60 239
Terraceria	2 836	2 901	2 594	2 615
Revestidas	23 500	23 284	23 063	23 112
Pavimentadas	32 093	33 437	34 067	34 512
CAMINOS VECINALES, LOCALES O RURALES				
Total	126 901	127 574	128 633	129 603
Terraceria	33 788	33 937	33 981	34 030
Revestidas	90 878	91 249	92 244	93 117
Pavimentadas	2 235	2 388	2 408	2 456

5.3 LONGITUD, CAPA DE RODAMIENTO Y CLASE DE CARRETERAS.

CONCEPTO	1987	1988	1989
LONGITUD DE LAS VIAS (Km)	26 287	26 399	26 510
LOCOMOTORAS	1 969	1 742	1 722
EQUIPO DE TRANSPORTE DE CARGA			
Unidades	56 457	48 968	49 469
Furgones	31 372	25 859	26 125
Gondolas, jaulas y tolvas	16 466	17 761	17 942
Tanques	1 980	1 672	1 687
Refrigeradores	326	339	317
Otras	4 311	3 337	3 398
EQUIPO DE TRANSPORTE DE PASAJEROS	1 195	1 599	—

TABLA 5.4 LONGITUD DE VIAS Y EQUIPO FERROVIARIO

- **Precisión:** Una precisión de 100 m es considerada como buena por los usuarios, pero la mayoría no tiene inconveniente si es del orden de 1 Km, siempre y cuando se muestre la unidad móvil sobre una carretera de un mapa digitalizado del terreno que se podrá ver en la pantalla de una computadora en la central de despacho.

- **Capacidad de Mensajes:** 1,000 caracteres por mensaje es considerado aceptable por los usuarios además de que podrán contar con mensajes o formas preprogramados.

- **Tiempo de Respuesta:** Un tiempo de respuesta inferior a 30 segundos satisface a más de la mitad de los encuestados. El viaje redondo de una comunicación por satélite es sólo del orden de milisegundos, hay que considerar el máximo retardo en el tiempo de respuesta cuando una comunicación requiere retransmisión por falta de confirmación, más el retraso que introduce el medio de comunicación entre la estación central y la central de despacho (red telefónica pública, microondas, etc.).

- **Cobertura:** La totalidad del territorio nacional resulta muy buena como cobertura para todos los encuestados. Además de que seguramente se establecerán enlaces con los sistemas norteamericanos de RDSS en los próximos años lo que permitirá una expansión de la cobertura y competitividad para las empresas transportistas.

- **Beneficios:** Es el factor decisivo de los usuarios para adoptar o no el servicio. Ellos esperan incrementar la productividad significativamente con los siguientes beneficios:

- Reducción de viajes recorridos en vacío o sin carga.
- Mejor control sobre los choferes, vehículos, y sus operaciones.
- Planeación y programación más efectivas del tiempo de carga y descarga.

- Disminución de los viajes fuera de ruta y reenruteo óptimo de los vehículos.
- Mayor seguridad para operadores y carga transportada.
- Atención más rápida a accidentes y averías.
- Posibilidad de expansión de su servicio de transportación a nivel nacional.
- Mejor servicio al cliente.

Con los resultados del muestreo, de la cuantificación del mercado objetivo en México y de los estudios de mercado realizados en Europa y Estados Unidos, la proyección del mercado capturable estableció la demanda del servicio en los primeros cinco años de operación. Los resultados se muestran en la tabla 5.5.

Actualmente, se proyecta un crecimiento real de la economía para los próximos años, y los requerimientos del servicio de transportación resultarán exigentes. Una infraestructura de transportes más sólida se hace indispensable, máxime en vísperas del Tratado de Libre Comercio, puesto que implicará que las empresas del transporte sean competitivas. Es en este contexto en el que se justifica la adopción del sistema de RDSS, el cual maximizará la utilización de los transportes y hará más eficientes sus operaciones.

5.3 APLICACIONES DEL RDSS.

El servicio de RDSS fué diseñado para proporcionar siete funciones genéricas:

- Mensajes bidireccionales entre las centrales de despacho y sus flotas.
- Localización de las unidades móviles por sus centrales de despacho.
- Guía de navegación de la unidad móvil.
- Localización de accidentes y situaciones de emergencia.
- Prevención de colisiones.

AÑO DE OPERACION	1	2	3	4	5
No. DE USUARIOS	2 700	7 000	2 500	18 000	22 800
% DEL MERCADO	1 %	3 %	5 %	7 %	9 %

TABLA 5.5 PROYECCION DEL MERCADO CAPTURABLE

- Interconexión con sistemas de RDSS internacionales.
- Interconexión a bases de datos y otros sistemas de comunicación.

Las primeras cuatro funciones son proporcionadas por los sistemas de RDSS actuales, mientras que las tres restantes serán proporcionadas por los futuros sistemas de RDSS a medida que la tecnología se perfeccione, esencialmente en lo que respecta a las terminales en las unidades móviles.

Cada sector del transporte utiliza estas funciones para prestar sus servicios brindando múltiples aplicaciones. Los siguientes puntos tratan de las aplicaciones del RDSS por sector de transporte.

5.3.1 Transporte Carretero.

El mercado de las comunicaciones móviles terrestres es el mayor entre todos los sectores del servicio móvil. A mediados de la década de los 80s se tenía en el Mundo un número estimado de 365 millones de vehículos privados, 102 millones de vehículos comerciales y 7 millones de autobuses. No todos estos vehículos son candidatos para comunicaciones móviles, mucho menos para las comunicaciones móviles por satélite. Sin embargo, actualmente hay más de 5 millones de vehículos equipados con algún tipo de equipo de radiocomunicación.

El sistema RDSS permite a transportistas por carretera cubrir una comunicación en largos recorridos, manteniendo a su flota en contacto permanente, en cualquier parte del mundo, ya sea en zonas rurales, desiertos, campo abierto, montañas o zonas urbanas. Una vez instalado en un vehículo, la terminal constituye un elemento pequeño, con un consumo de energía mínima. Por todo esto puede decirse que el servicio de RDSS está especialmente diseñado para el transporte de carga carretero, principalmente tractocamiones.

Se espera que los equipos de radiodeterminación sean producidos por muchos fabricantes, de tal manera que se aseguren precios competitivos y de gran fiabilidad.

Se presentan a continuación algunas posibles aplicaciones:

- * Coordinación y declaración de la carga.
- * Control del motor y de la mercancía del vehículo.
- * Informes de tráfico y carreteras.
- * Control de la carga.
- * Seguimiento de contenedores.
- * Información de posición.
- * Documentación de aduanas.
- * Informes meteorológicos.
- * Alerta y aviso en caso de robos o secuestros.
- * Mensajes de/a los pasajeros de autobuses.
- * Mensajes personales y de radiobúsqueda.

Los equipos de radiodeterminación tienen la posibilidad de transmitir periódicamente, o ser interrogados a distancia, sobre datos recogidos de sensores automáticos y de otros aparatos de recopilación de datos. Por ejemplo, en el caso de tractocamiones, los datos pueden incluir información como velocidad, parámetros de funcionamiento de motor, combustible, temperatura de refrigeración de la carga, presión de los contenedores, etc..

El envío de boletines periódicos con la información de este tipo, permitirá al transportista programar flotas, mantenimiento y necesidades de personal, de manera que se podrá incrementar notablemente la eficiencia.

5.3.2 Transporte Ferroviario.

En los Estados Unidos se han desarrollado algunas aplicaciones del RDSS para los ferrocarriles e industrias relacionadas. Actualmente, en la mayoría de los sistemas, el control de las vías férreas se hace manualmente, necesitando una

gran separación entre trenes, a diferencia de los sistemas automáticos. Las terminales remotas montadas en la cabina de las locomotoras, pueden proveer mucho mayor precisión y rapidez de información acerca de la localización y avance de los trenes, permitiendo mayor puntualidad y mejor utilización del sistema.

Los mensajes bidireccionales entre el operador del tren y la central de despacho pueden proporcionarse sin existir enlace de voz. La información de la velocidad óptima durante el recorrido puede ser transmitida al maquinista para evitar que acelere o detenga el tren, estrategia utilizada frecuentemente para cumplir con los horarios programados.

Con la adición de sensores analógicos o digitales, una terminal remota de RDSS puede ser usada para monitorear las condiciones de un vehículo en particular, además de su posición. La información crítica que puede ser reportada por un tren, tal como temperatura y presión internas, sirve para mejorar la operación y ayuda a evitar trastornos e interrupciones en el trayecto del tren.

Las ventajas que se encuentran en la operación ferroviaria se derivan de la cobertura global del sistema, así como del bajo costo de las comunicaciones de datos.

A continuación se resumen los beneficios de este sistema aplicados a los ferrocarriles:

- * Centralización de monitoreo en tiempo real de operaciones remotas.
- * Habilidad para controlar cruces y cambios de vía en puntos de control de tráfico, utilizando para esto un sistema de comunicaciones de señalización y control.
- * Inventario geográfico de vagones y carros en la red, añadiendo a esto informes de ubicación de mercancías, contenedores y material rodante.
- * Comunicaciones de seguridad y emergencia, reduciendo el tiempo de respuesta del auxilio enviado.

5.3.3 Transporte Aéreo.

El servicio de RDSS será complementario de los sistemas ya existentes de navegación aérea (tales como el LORAN-C o el GPS) y de comunicación de voz. Será difícil incursionar en el mercado a corto plazo, pero su ventaja puede ser que es un sistema de navegación y comunicación de datos, económico y eficiente, que fortalecerá principalmente la seguridad de aeronaves pequeñas.

En cuanto al transporte aéreo se tienen las siguientes aplicaciones:

- * Comunicaciones operacionales o información de vuelo.
- * Informes meteorológicos de la ruta y de los aeropuertos.
- * Autorizaciones de cambios de ruta.
- * Datos de las condiciones del motor, combustible y otros sistemas
- * Prevención de colisiones aéreas.
- * Monitoreo o control de tráfico.
- * Control y revista de las tripulaciones.
- * Notificación de situaciones de emergencia.
- * Información de la posición a las autoridades aeronáuticas.

5.3.4 Transporte Marítimo.

El RDSS provee a la industria del transporte marítimo una herramienta valiosa y económica para el control de sus flotas y puede ser instalado en embarcaciones pequeñas tanto comerciales como recreativas.

A continuación se mencionan algunas aplicaciones de este servicio:

- * Servicio de localización y tráfico de embarcaciones, el cual permite el control de entradas y salidas de naves a rutas o canales restringidos.
- * Además provee al personal controlador de zonas navegables, con un monitor, con el cual podrá observar la densidad de tráfico de

dichas aguas, facilitando así la coordinación de naves en condiciones de mala visibilidad.

- * Sustituciones de transmisores de radio para indicar posiciones de emergencia, ya que los transmisores actualmente usados tienen un alto índice de falsas alarmas, baja precisión y no proveen un servicio continuo.

- * Despacho de transbordadores, el cual es coordinado por medio de una terminal de video del sistema. En esta aplicación, la importancia de mantener un horario coordinado es crítica.

- * Coordinación y eficiencia en el dragado de puertos, monitoreando los desechos en las aguas.

Además de las ventajas de eficiencia y economía que pueden alcanzar las embarcaciones, existe la inmediata necesidad de coordinar la asignación de muelles en los puertos nacionales, debido a los altos costos asociados en los tiempos de espera.

5.3.5 Aplicaciones Especiales.

- * Los transeptores pueden ser equipados con sensores de presión, temperatura, etc. para supervisar contenedores cuya carga consiste de materiales peligrosos o de alto valor, con un mayor grado de efectividad, desde su origen hasta su destino.

- * Puede emplearse como medio de comunicación de mensajes desde zonas de desastre en forma rápida y efectiva, en caso de que otros medios de comunicación estuviesen deshabilitados.

- * En la explotación de recursos naturales tales como gas, petróleo, minerales, electricidad, que se encuentran en zonas aisladas, manejando así la comunicación, control de procesos y seguridad de la fuerza laboral.

- * Comunicaciones de datos entre hospitales y ambulancias del servicio de rescate. Por ejemplo, electrocardiogramas, para conocer el estado de los heridos.

5.3.6 Aplicaciones a Futuro.

* **Sistemas de radiolocalización de personas-** La radiodeterminación por satélite podría ofrecer este servicio utilizando equipos de recepción un poco más sofisticados que los "beeps", que actualmente se utilizan en frecuencias terrenas, ofreciendo una cobertura muy extensa.

* **DLMSS-** El RDSS da las bases de un sistema de comunicación por satélite llamado SDMTS (Sistema Digital Móvil Terrestre por Satélite) del inglés DLMSS (Digital Land Mobile Satellite System). Este sistema tendrá la capacidad de proveer una variedad de velocidades en la transmisión de información, para terminales fijas y móviles. Con el incremento del uso de las computadoras personales portátiles ha aumentado la necesidad de que éstas se interconecten con centrales donde se dispongan de bases de datos. Habiendo comunicación bidireccional, pueden ser aprovechados estos recursos. Así, bajo este sistema, una computadora portátil (llamada Lap Top), puede llevarse en el automóvil, en el autobús, en un tren, barco o avión y disponer de radiodeterminación y transmisión-recepción de datos, teniendo una gran cobertura gracias a la ayuda de los satélites.

CONCLUSIONES

El principal problema para el adecuado funcionamiento del RDSS en México es la separación entre los satélites Morelos, tan sólo tres grados. Como se vio, geoméricamente la separación ideal es a partir de los treinta grados, aunque algunos autores reducen esta cifra a la mitad. El problema radica en que las curvas de rango de cada satélite estarían muy juntas, presentando una precisión en la determinación de la posición de hasta cinco km.

La solución para tener una mayor precisión con satélites tan juntos, es un sistema híbrido, es decir, un sistema que utilice la comunicación bidireccional que proporciona el RDSS, pero la determinación de la posición de otro sistema tal como el GPS.

El sistema planteado para banda Ku utiliza los recursos existentes. Para evitar las antenas directivas de los móviles y las grandes atenuaciones que se presentan en esta banda, es necesario trabajar en bandas más bajas; en tal caso, se tendría que esperar que los nuevos satélites Solidaridad entren en operación pues ellos contarán con transpondedores en la banda L, aunque su separación orbital seguirá siendo de tres grados.

El sistema tiene que ser desarrollado con los esquemas de codificación y modulación definidos por la UIT para el RDSS, así como las estructuras en tramas para los datos bidireccionales. Tales esquemas son los utilizados por el sistema GEOSTAR en banda L, no así por el sistema de Qualcomm en banda Ku. Esta compatibilidad de normas es necesaria para una futura interconexión de todos los sistemas de RDSS en el mundo.

Las relaciones portadora a densidad de ruido ascendente y descendente, en las trayectorias móvil-satélite y satélite-móvil,

respectivamente, resultan pequeñas en comparación con las relaciones que se encuentran para las trayectorias ascendente y descendente de los servicios fijos. Tales diferencias se deben a las características del transceptor (transmisor-receptor) de la unidad móvil. En la transmisión, la ganancia de la antena y la potencia del HPA resultan pequeñas; mientras que en la recepción, la figura de mérito de la unidad móvil es negativa, ocasionando a su vez que la relación $(C/N)_{dc}$ resulte negativa.

Se ha sugerido que el RDSS proporcione también un canal de voz. Por lo pronto, esto no sería posible puesto que dicho canal tiene un ancho de banda de 5 kHz, contra 16.5 MHz de un canal digital para comunicaciones bidireccionales del RDSS. El menor ancho de banda de un canal de voz implica una potencia mucho mayor en el transmisor móvil que la requerida para el sistema de RDSS. Lo que probablemente se haga, es tener dos sistemas independientes, por un lado al RDSS, y por otro un sistema dedicado para voz prestado por el Servicio Móvil Terrestre por Satélite.

El ancho de banda requerido para el sistema de RDSS se expande porque se utiliza la técnica CDMA (Spread Spectrum). Si sólo se considerase la velocidad de información R_b , el ancho de banda requerido sería de diez a cien veces más pequeño. Esta expansión resulta de la velocidad del código pseudoaleatorio utilizado en la técnica CDMA, además de que, en los servicios móviles, el ancho de banda de la señal es función del número de vehículos que el servicio pretenda cubrir.

APENDICE A

SPREAD SPECTRUM

Se define al Espectro Expandido (Spread Spectrum) como una técnica en la cual una señal transmitida ocupa un ancho de banda mucho más grande que el requerido por la señal de información de banda base.

El concepto básico de Spread Spectrum consiste en tomar la energía contenida en un ancho de banda B_0 y expandirla en otro ancho de banda más amplio B_1 , como se muestra en la figura A.1. Esencialmente, existen tres técnicas para lograrlo:

- Secuencia directa
- Salto de frecuencia
- Salto de tiempo

También es posible una combinación de estas técnicas. Los códigos pseudoaleatorios son usados para lograr la expansión del espectro.

Secuencia Directa

Una de las maneras más poderosas de expandir el espectro de una señal es multiplicarla por una señal de banda ancha (modularla); sin embargo, la señal expandida debe tener propiedades que faciliten la obtención y rastreo de la señal original, es decir, el receptor podrá demodular la señal recibida. Las señales de pseudoruido binario (códigos pseudoaleatorios) poseen estas propiedades, por lo que la mayoría de técnicas de spread spectrum utilizan un código pseudoaleatorio con una modulación PSK.

Salto de Frecuencia

Consiste en transmitir cada bit o fracción de bit (chip) con una portadora diferente seleccionada de un ancho de banda mayor.

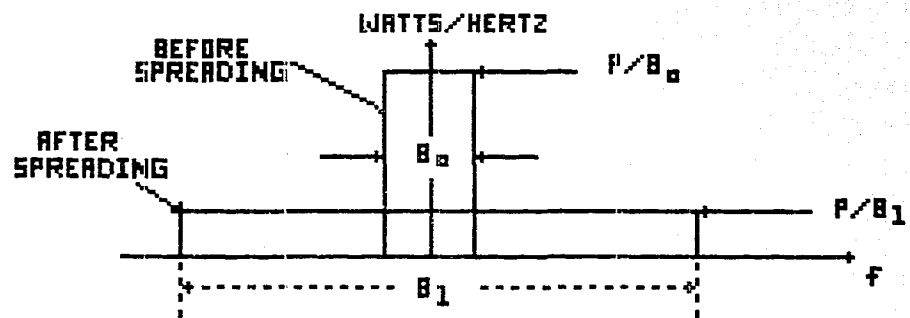


FIGURA A.1 ILUSTRACION DEL ESPECTRO EXPANDIDO.

La selección de frecuencias es controlada por un código pseudoaleatorio. Existen 2^n ranuras de frecuencia o portadoras (siendo n la longitud de la palabra de código), y para cada bit de mensaje sucesivo son seleccionadas dos ranuras para indicar un 1 ó 0. La señal es reconstruida en la recepción, usando una réplica del código pseudoaleatorio.

Salto de Tiempo

A diferencia del salto de frecuencia, donde se establecen canales por ranuras de frecuencia; el salto de tiempo lo hace por ranuras de tiempo dentro de una determinada trama. Por medio de un código pseudoaleatorio, se transmiten ráfagas dentro de una ranura. Los bits de información son almacenados para transmitirlos a alta velocidad durante la ráfaga. En la recepción, un selector de ranuras de tiempo escoge la porción deseada de la trama mediante el mismo código pseudoaleatorio.

La técnica de Spread Spectrum expande la señal transmitida tanto como sea práctico, con lo que el ancho de banda resultante puede ser de 10 a 100 veces más grande que el original. De las tres técnicas expuestas, la secuencia directa y el salto de frecuencia son las más utilizadas.

El uso de los códigos pseudoaleatorios permite la técnica de acceso múltiple por división de código (CDMA), por lo que se explican a continuación:

Códigos Pseudoaleatorios

Están basados en secuencias pseudoaleatorias que, a diferencia de una secuencia verdaderamente aleatoria, no tienen independencia de cualquier intervalo previo o futuro, es decir, las secuencias tienen longitud finita y se pueden repetir periódicamente. También reciben el nombre de códigos de pseudoruido ya que su espectro es similar al que presenta el ruido blanco.

En CDMA cada usuario tiene asignado un único código ortogonal, sin embargo, el número de códigos posibles está limitado de acuerdo a la longitud de la palabra de código. Esta limitación es superada por medio de una secuencia compuesta, la cual es generada por la combinación de secuencias de longitud máxima. Estas secuencias son llamadas códigos Oro (Gold Codes) y permiten la construcción de grandes familias de códigos pseudoaleatorios ortogonales por lo que, su aplicación en servicios móviles es evidente.

APENDICE B
RESULTADOS COMPLETOS PARA SEIS CIUDADES.

Resultados Completos para el Enlace México-Cancún.

Enlace de Ida (Central-Móvil).

Estación Terrena Transmisora	Central: México, D.F.	
Estación Terrena Receptora	Móvil: Cancún, Q.R.	
Diámetro de la Antena Transmisora	5.60	[m]
Ganancia de la Antena Transmisora	57.20	[dBi]
Ganancia de la Antena Receptora	20.40	[dBi]
Temperatura Total del Sistema Rx	25.40	[dBK]
Densidad de Flujo en Saturación (DFS)	-90.16	[dBW/m ²]
Atenuador de Posición	9.00	[dB]
Figura de Mérito del Satélite	2.42	[dB/K]
Frecuencias de operación	14.25/11.95	[GHz]
Back-off in/out	8.00/4.50	[dB]

Enlace Ascendente (Central-Morelos II).

Pérdidas por Absorción Atmosférica	0.10	[dB]
Pérdidas por Apuntamiento	0.50	[dB]
Back-off de entrada en el Transpondedor	8.00	[dB]
PIRE/Portadora desde la E.T.	65.76	[dBW]
Pérdidas por Espacio Libre	206.78	[dB]
Pérdidas por Polarizador	0.20	[dB]
Constante de Boltzman	-228.60	[dBW/K]
Margen por Precipitación	6.30	[dB]
Relación G/T del Transpondedor	2.42	[dB/K]
Relación C/N _o Ascendente	82.92	[dB-Hz]
Relación C/N Ascendente	10.75	[dB]
Relación C/I por Intermodulación en HPA	15.00	[dB]
Relación C/X por Polarización Cruzada	-	-
Relación C/N Ascendente del Sistema	9.36	[dB]

 Potencia Nominal Requerida en el HPA

PIRE/Portadora desde la E.T.	65.76	[dBW]
Pérdidas en Guías de Onda	3.00	[dB]
Back-off de Salida	0.00	[dB]
Ganancia de la Antena en Transmisión	57.20	[dBi]
Pérdidas en Eficiencia por Edad	(en Ganancia Ant)	
Potencia Nominal Requerida/Portadora	11.56	[dBW]
Potencia Nominal Requerida/Portadora	14.32	[W]
Margen por Precipitación	6.30	[dB]
Potencia Requerida con Lluvia	61.16	[W]

 Enlace Descendente (Morelos II-Móvil).

Potencia Radiada en saturación por TP	44.25	[dBW]
Back-off de Salida	4.50	[dB]
PIRE/Portadora desde el Satélite	32.49	[dB]
Pérdidas por Espacio Libre	205.40	[dB]
Pérdidas por Apuntamiento	0.80	[dB]
Pérdidas por Polarizador	0.50	[dB]
Pérdidas por Absorción Atmosférica	0.10	[dB]
Margen por Precipitación	6.90	[dB]
Constante de Boltzman	-228.60	[dBW/K]
Figura de Mérito G/T de la E.T.	-5.00	[dB/K]
Relación C/No Descendente	42.91	[dB-Hz]
Relación C/N Descendente	-29.26	[dB]
Relación C/I por Intermodulación en TP	15.00	[dB]
Relación C/X por Satélites Adyacentes	35.00	[dB]
Relación C/N Descendente del Sistema	-29.26	[dB]

Enlace de Ida

México-Cancún

Factor de Calidad del Enlace Global

Relación C/No Total del Sistema	42.90	[dB-Hz]
Relación C/N Total del Sistema	-29.27	[dB-Hz]
Relación Eb/No Total del Sistema	4.95	[dB]
Eb/No Requerida ($BER=10^{-5}$)	9.70	[dB]
Disponibilidad del Enlace	99.50	%

Para lograr la relación Eb/No requerida se necesitaría una potencia nominal/portadora de 50.40 [W] y de 215.02 [W] con lluvia.

Rango a cada uno de los Satélites

Distancia Cancún-Morelos 1	37 012.25	[km]
Distancia Cancún-Morelos 2	37 179.27	[km]
Elevación (al Morelos 1)	51.06 ^o	
Acimut	125.64 ^o	
Elevación (al Morelos 2)	48.43 ^o	
Acimut	122.30 ^o	

Enlace de Retorno

Cancún-México

Enlace de Retorno (Móvil-Central).

Estación Terrena Transmisora	Móvil: Cancún, Q.R.	
Estación Terrena Receptora	Central: México, D.F.	
Diámetro Equivalente de la Antena Tx	0.11	[m]
Ganancia de la Antena Transmisora	21.80	[dBi]
Ganancia de la Antena Receptora	55.50	[dBi]
Temperatura Total del Sistema Rx	24.33	[dBK]
Densidad de Flujo en Saturación (DFS)	-89.04	[dBW/m ²]
Atenuador de Posición	9.00	[dB]
Figura de Mérito del Satélite	1.45	[dB/K]
Frecuencias de operación	14.25/11.95	[GHz]
Back-off in/out	8.00/4.50	[dB]

Enlace Ascendente (Móvil-Morelos II).

Pérdidas por Absorción Atmosférica	0.10	[dB]
Pérdidas por Apuntamiento	0.50	[dB]
Back-off de entrada en el Transpondedor	8.00	[dB]
PIRE/Portadora desde la E.T.	20.80	[dBW]
Pérdidas por Espacio Libre	206.93	[dB]
Pérdidas por Polarizador	0.20	[dB]
Constante de Boltzman	-228.60	[dBW/K]
Margen por Precipitación	8.90	[dB]
Relación G/T del Transpondedor	1.45	[dB/K]
Relación C/No Ascendente	34.22	[dB-Hz]
Relación C/N Ascendente	-37.95	[dB]
Relación C/I por Intermodulación en HPA	15.00	[dB]
Relación C/X por Polarización Cruzada	-	-
Relación C/N Ascendente del Sistema	-37.95	[dB]

 Potencia Nominal Requerida en el HPA

PIRE/Portadora desde la E.T.	20.80	[dBW]
Pérdidas en Gulas de Orda	2.00	[dB]
Back-off de Salida	0.00	[dB]
Ganancia de la Antena en Transmisión	21.80	[dBi]
Pérdidas en Eficiencia por Edad	(en Ganancia Ant)	
Potencia Nominal Requerida/Portadora	1.00	[dBW]
Potencia Nominal Requerida/Portadora	1.26	[W]
Margen por Precipitación	8.90	[dB]
Potencia Requerida con Lluvia	9.77	[W]

 Enlace Descendente (Morelos II-Central).

Potencia Radiada en saturación por TP	47.25	[dBW]
Back-off de Salida	4.50	[dB]
PIRE/Portadora desde el Satelite	-10.85	[dB]
Pérdidas por Espacio Libre	205.25	[dB]
Pérdidas por Apuntamiento	0.80	[dB]
Pérdidas por Polarizador	0.50	[dB]
Pérdidas por Absorción Atmosférica	0.10	[dB]
Margen por Precipitación	4.30	[dB]
Constante de Boltzman	-228.60	[dBW/K]
Figura de Mérito G/T de la E.T.	31.17	[dB/K]
Relación C/No Descendente	37.97	[dB-Hz]
Relación C/N Descendente	-34.20	[dB]
Relación C/I por Intermodulación en TP	15.00	[dB]
Relación C/X por Satélites Adyacentes	35.00	[dB]
Relación C/N Descendente del Sistema	-34.20	[dB]

Factor de Calidad del Enlace Global

Relación C/No Total del Sistema	32.69	[dB-Hz]
Relación C/N Total del Sistema	-39.48	[dB-Hz]
Relación Eb/No Total del Sistema	7.61	[dB]
Eb/No Requerida (BER=10 ⁻⁵)	9.70	[dB]
Disponibilidad del Enlace	99.80	%

 Enlace de Retorno de Posicionamiento (Móvil-Central).

Estación Terrena Transmisora	Móvil: Cancún, Q.R.	
Estación Terrena Receptora	Central: México, D.F.	
Diámetro Equivalente de la Antena Tx	0.11	[m]
Ganancia de la Antena Transmisora	21.80	[dBi]
Ganancia de la Antena Receptora	51.80	[dBi]
Temperatura Total del Sistema Rx	24.33	[dBK]
Densidad de Flujo en Saturación (DFS)	-89.04	[dBW/m ²]
Atenuador de Posición	9.00	[dB]
Figura de Mérito del Satélite	1.45	[dB/K]
Frecuencias de operación	14.25/11.95	[GHz]
Back-off in/out	8.00/4.50	[dB]

 Enlace Ascendente (Móvil-Morelos I).

Pérdidas por Absorción Atmosférica	0.10	[dB]
Pérdidas por Apuntamiento	0.50	[dB]
Back-off de entrada en el Transpondedor	8.00	[dB]
PIRE/Portadora desde la E.T.	20.80	[dBW]
Pérdidas por Espacio Libre	206.89	[dB]
Pérdidas por Polarizador	0.20	[dB]
Constante de Boltzman	-228.60	[dBW/K]
Margen por Precipitación	8.90	[dB]
Relación G/T del Transpondedor	1.45	[dB/K]
Relación C/No Ascendente	34.26	[dB-Hz]
Relación C/N Ascendente	-37.91	[dB]
Relación C/I por Intermodulación en HPA	15.00	[dB]
Relación C/X por Polarización Cruzada	-	-
Relación C/N Ascendente del Sistema	-37.91	[dB]

 Potencia Nominal Requerida en el HPA

PIRE/Portadora desde la E.T.	20.80	[dBW]
Pérdidas en Guías de Onda	2.00	[dB]
Back-off de Salida	0.00	[dB]
Ganancia de la Antena en Transmisión	21.80	[dBi]
Pérdidas en Eficiencia por Edad	(en Ganancia Ant)	
Potencia Nominal Requerida/Portadora	1.00	[dBW]
Potencia Nominal Requerida/Portadora	1.26	[W]
Margen por Precipitación	8.90	[dB]
Potencia Requerida con Lluvia	9.77	[W]

 Enlace Descendente (Morelos I-Móvil).

Potencia Radiada en saturación por TP	47.25	[dBW]
Back-off de Salida	4.50	[dB]
PIRE/Portadora desde el Satélite	-10.81	[dB]
Pérdidas por Espacio Libre	205.23	[dB]
Pérdidas por Apuntamiento	0.80	[dB]
Pérdidas por Polarizador	0.50	[dB]
Pérdidas por Absorción Atmosférica	0.10	[dB]
Margen por Precipitación	4.30	[dB]
Constante de Boltzman	-228.60	[dBW/K]
Figura de Mérito G/T de la E.T.	27.47	[dB/K]
Relación C/No Descendente	34.33	[dB-Hz]
Relación C/N Descendente	-37.84	[dB]
Relación C/I por Intermodulación en TP	15.00	[dB]
Relación C/X por Satélites Adyacentes	35.00	[dB]
Relación C/N Descendente del Sistema	-37.84	[dB]

Factor de Calidad del Enlace Global

Relación C/No Total del Sistema	31.28	[dB-Hz]
Relación C/N Total del Sistema	-40.89	[dB-Hz]
Relación Eb/No Total del Sistema	6.20	[dB]
Eb/No Requerida (BER=10 ⁻⁵)	9.70	[dB]
Disponibilidad del Enlace	99.50	%

Resultados Completos para el Enlace México-Ciudad Juárez.

Enlace de Ida (Central-Móvil).

Estación Terrena Transmisora	Central: México, D.F.	
Estación Terrena Receptora	Móvil: Cd. Juárez	
Diámetro de la Antena Transmisora	5.60	[m]
Ganancia de la Antena Transmisora	57.20	[dBi]
Ganancia de la Antena Receptora	20.40	[dBi]
Temperatura Total del Sistema Rx	25.40	[dBK]
Densidad de Flujo en Saturación (DFS)	-90.16	[dBW/m ²]
Atenuador de Posición	9.00	[dB]
Figura de Mérito del Satélite	2.42	[dB/K]
Frecuencias de operación	14.25/11.95	[GHz]
Back-off in/out	8.00/4.50	[dB]

Enlace Ascendente (Central-Morelos II).

Pérdidas por Absorción Atmosférica	0.10	[dB]
Pérdidas por Apuntamiento	0.50	[dB]
Back-off de entrada en el Transpondedor	8.00	[dB]
PIRE/Portadora desde la E.T.	65.76	[dBW]
Pérdidas por Espacio Libre	206.78	[dB]
Pérdidas por Polarizador	0.20	[dB]
Constante de Boltzman	-228.60	[dBW/K]
Margen por Precipitación	6.30	[dB]
Relación G/T del Transpondedor	2.42	[dB/K]
Relación C/N ₀ Ascendente	82.92	[dB-Hz]
Relación C/N Ascendente	10.75	[dB]
Relación C/I por Intermodulación en HPA	15.00	[dB]
Relación C/X por Polarización Cruzada	-	-
Relación C/N Ascendente del Sistema	9.36	[dB]

 Potencia Nominal Requerida en el HPA

PIRE/Portadora desde la E.T.	65.76	[dBW]
Pérdidas en Guías de Onda	3.00	[dB]
Back-off de Salida	0.00	[dB]
Ganancia de la Antena en Transmisión	57.20	[dBi]
Pérdidas en Eficiencia por Edad	(en Ganancia Ant)	
Potencia Nominal Requerida/Portadora	11.56	[dBW]
Potencia Nominal Requerida/Portadora	14.32	[W]
Margen por Precipitación	6.30	[dB]
Potencia Requerida con Lluvia	61.16	[W]

 Enlace Descendente (Morelos II-Móvil).

Potencia Radiada en saturación por TP	44.07	[dBW]
Back-off de Salida	4.50	[dB]
PIRE/Portadora desde el Satélite	32.25	[dB]
Pérdidas por Espacio Libre	205.36	[dB]
Pérdidas por Apuntamiento	0.80	[dB]
Pérdidas por Polarizador	0.50	[dB]
Pérdidas por Absorción Atmosférica	0.10	[dB]
Margen por Precipitación	0.00	[dB]
Constante de Boltzman	-228.60	[dBW/K]
Figura de Mérito G/T de la E.T.	-5.00	[dB/K]
Relación C/No Descendente	49.09	[dB-Hz]
Relación C/N Descendente	-23.08	[dB]
Relación C/I por Intermodulación en TP	15.00	[dB]
Relación C/X por Satélites Adyacentes	35.00	[dB]
Relación C/N Descendente del Sistema	-23.08	[dB]

 Factor de Calidad del Enlace Global

Relación C/No Total del Sistema	49.08	[dB-Hz]
Relación C/N Total del Sistema	-23.09	[dB-Hz]
Relación Eb/No Total del Sistema	11.13	[dB]
Eb/No Requerida (BER=10 ⁻⁵)	9.70	[dB]
Disponibilidad del Enlace	99.95	%

 Rango a cada uno de los Satélites

Distancia Cd Juárez-Morelos 1	36 937.64	[km]
Distancia Cd Juárez-Morelos 2	36 985.65	[km]
Elevación (al Morelos 1)	52.27 ^o	
Acimut	166.82 ^o	
Elevación (al Morelos 2)	51.48 ^o	
Acimut	161.43 ^o	

 Enlace de Retorno (Móvil-Central).

Estación Terrena Transmisora	Móvil: Cd. Juárez.	
Estación Terrena Receptora	Central: México, D.F.	
Diámetro Equivalente de la Antena Tx	0.11	[m]
Ganancia de la Antena Transmisora	21.80	[dBi]
Ganancia de la Antena Receptora	55.50	[dBi]
Temperatura Total del Sistema Rx	24.33	[dBK]
Densidad de Flujo en Saturación (DFS)	-89.32	[dBW/m ²]
Atenuador de Posición	9.00	[dB]
Figura de Mérito del Satélite	1.58	[dB/K]
Frecuencias de operación	14.25/11.95	[GHz]
Back-off in/out	8.00/4.50	[dB]

 Enlace Ascendente (Móvil-Morelos II).

Pérdidas por Absorción Atmosférica	0.10	[dB]
Pérdidas por Apuntamiento	0.50	[dB]
Back-off de entrada en el Transpondedor	8.00	[dB]
PIRE/Portadora desde la E.T.	20.80	[dBW]
Pérdidas por Espacio Libre	206.89	[dB]
Pérdidas por Polarizador	0.20	[dB]
Constante de Boltzman	-228.60	[dBW/K]
Margen por Precipitación	1.30	[dB]
Relación G/T del Transpondedor	1.58	[dB/K]
Relación C/No Ascendente	42.00	[dB-Hz]
Relación C/N Ascendente	-30.17	[dB]
Relación C/I por Intermodulación en HPA	15.00	[dB]
Relación C/X por Polarización Cruzada	-	-
Relación C/N Ascendente del Sistema	-30.17	[dB]

 Potencia Nominal Requerida en el HPA

PIRE/Portadora desde la E.T.	20.80	[dBW]
Pérdidas en Guías de Onda	2.00	[dB]
Back-off de Salida	0.00	[dB]
Ganancia de la Antena en Transmisión	21.80	[dBi]
Pérdidas en Eficiencia por Edad	(en Ganancia Ant)	
Potencia Nominal Requerida/Portadora	1.00	[dBW]
Potencia Nominal Requerida/Portadora	1.26	[W]
Margen por Precipitación	1.30	[dB]
Potencia Requerida con Lluvia	1.70	[W]

 Enlace Descendente (Morelos II-Central).

Potencia Radiada en saturación por TP	47.25	[dBW]
Back-off de Salida	4.50	[dB]
PIRE/Portadora desde el Satélite	-10.52	[dB]
Pérdidas por Espacio Libre	205.25	[dB]
Pérdidas por Apuntamiento	0.80	[dB]
Pérdidas por Polarizador	0.50	[dB]
Pérdidas por Absorción Atmosférica	0.10	[dB]
Margen por Precipitación	4.30	[dB]
Constante de Boltzman	-228.60	[dBW/K]
Figura de Mérito G/T de la E.T.	31.17	[dB/K]
Relación C/No Descendente	38.30	[dB-Hz]
Relación C/N Descendente	-33.87	[dB]
Relación C/I por Intermodulación en TP	15.00	[dB]
Relación C/X por Satélites Adyacentes	35.00	[dB]
Relación C/N Descendente del Sistema	-33.87	[dB]

Factor de Calidad del Enlace Global

Relación C/No Total del Sistema	36.76	[dB-Hz]
Relación C/N Total del Sistema	-35.41	[dB-Hz]
Relación Eb/No Total del Sistema	11.68	[dB]
Eb/No Requerida (BER=10 ⁻⁵)	9.70	[dB]
Disponibilidad del Enlace	99.95	%

 Enlace de Retorno de Posicionamiento (Móvil-Central).

Estación Terrena Transmisora	Móvil: Cd. Juárez.
Estación Terrena Receptora	Central: México, D.F.
Diámetro Equivalente de la Antena Tx	0.11 [m]
Ganancia de la Antena Transmisora	21.80 [dBi]
Ganancia de la Antena Receptora	51.80 [dBi]
Temperatura Total del Sistema Rx	24.33 [dBK]
Densidad de Flujo en Saturación (DFS)	-89.32 [dBW/m ²]
Atenuador de Posición	9.00 [dB]
Figura de Mérito del Satélite	1.58 [dB/K]
Frecuencias de operación	14.25/11.95 [GHz]
Back-off in/out	8.00/4.50 [dB]

 Enlace Ascendente (Móvil-Morelos I).

Pérdidas por Absorción Atmosférica	0.10 [dB]
Pérdidas por Apuntamiento	0.50 [dB]
Back-off de entrada en el Transpondedor	8.00 [dB]
PIRE/Portadora desde la E.T.	20.80 [dBW]
Pérdidas por Espacio Libre	206.88 [dB]
Pérdidas por Polarizador	0.20 [dB]
Constante de Boltzman	-228.60 [dBW/K]
Margen por Precipitación	1.30 [dB]
Relación G/T del Transpondedor	1.58 [dB/K]
Relación C/No Ascendente	42.01 [dB-Hz]
Relación C/N Ascendente	-30.16 [dB]
Relación C/I por Intermodulación en HPA	15.00 [dB]
Relación C/X por Polarización Cruzada	- -
Relación C/N Ascendente del Sistema	-30.16 [dB]

Potencia Nominal Requerida en el HPA

PIRE/Portadora desde la E.T.	20.80	[dBW]
Pérdidas en Guías de Onda	2.00	[dB]
Back-off de Salida	0.00	[dB]
Ganancia de la Antena en Transmisión	21.80	[dBi]
Pérdidas en Eficiencia por Edad	(en Ganancia Ant)	
Potencia Nominal Requerida/Portadora	1.00	[dBW]
Potencia Nominal Requerida/Portadora	1.26	[W]
Margen por Precipitación	1.30	[dB]
Potencia Requerida con Lluvia	1.70	[W]

Enlace Descendente (Morelos I-Móvil).

Potencia Radiada en saturación por TP	47.25	[dBW]
Back-off de Salida	4.50	[dB]
PIRE/Portadora desde el Satélite	-10.51	[dB]
Pérdidas por Espacio Libre	205.23	[dB]
Pérdidas por Apuntamiento	0.80	[dB]
Pérdidas por Polarizador	0.50	[dB]
Pérdidas por Absorción Atmosférica	0.10	[dB]
Margen por Precipitación	4.30	[dB]
Constante de Boltzman	-228.60	[dBW/K]
Figura de Mérito G/T de la E.T.	27.47	[dB/K]
Relación C/N _o Descendente	34.63	[dB-Hz]
Relación C/N Descendente	-37.54	[dB]
Relación C/I por Intermodulación en TP	15.00	[dB]
Relación C/X por Satélites Adyacentes	35.00	[dB]
Relación C/N Descendente del Sistema	-37.54	[dB]

Factor de Calidad del Enlace Global

Relación C/No Total del Sistema	33.90	[dB-Hz]
Relación C/N Total del Sistema	-38.27	[dB-Hz]
Relación Eb/No Total del Sistema	8.82	[dB]
Eb/No Requerida (BER=10 ⁻⁵)	9.70	[dB]
Disponibilidad del Enlace	99.80	%

Resultados Completos para el Enlace México-Ciudad Victoria.

Enlace de Ida (Central-Móvil).

Estación Terrena Transmisora	Central: México, D.F.
Estación Terrena Receptora	Móvil: Cd. Victoria.
Diámetro de la Antena Transmisora	5.60 [m]
Ganancia de la Antena Transmisora	57.20 [dBi]
Ganancia de la Antena Receptora	20.40 [dBi]
Temperatura Total del Sistema Rx	25.40 [dBK]
Densidad de Flujo en Saturación (DFS)	-90.16 [dBW/m ²]
Atenuador de Posición	9.00 [dB]
Figura de Mérito del Satélite	2.42 [dB/K]
Frecuencias de operación	14.25/11.95 [GHz]
Back-off in/out	8.00/4.50 [dB]

Enlace Ascendente (Central-Morelos II).

Pérdidas por Absorción Atmosférica	0.10 [dB]
Pérdidas por Apuntamiento	0.50 [dB]
Back-off de entrada en el Transpondedor	8.00 [dB]
PIRE/Portadora desde la E.T.	65.76 [dBW]
Pérdidas por Espacio Libre	206.78 [dB]
Pérdidas por Polarizador	0.20 [dB]
Constante de Boltzman	-228.60 [dBW/K]
Margen por Precipitación	6.30 [dB]
Relación G/T del Transpondedor	2.42 [dB/K]
Relación C/No Ascendente	82.92 [dB-Hz]
Relación C/N Ascendente	10.75 [dB]
Relación C/I por Intermodulación en HPA	15.00 [dB]
Relación C/X por Polarización Cruzada	- -
Relación C/N Ascendente del Sistema	9.36 [dB]

 Potencia Nominal Requerida en el HPA

PIRE/Portadora desde la E.T.	65.76	[dBW]
Pérdidas en Guías de Onda	3.00	[dB]
Back-off de Salida	0.00	[dB]
Ganancia de la Antena en Transmisión	57.20	[dBi]
Pérdidas en Eficiencia por Edad	(en Ganancia Ant)	
Potencia Nominal Requerida/Portadora	11.56	[dBW]
Potencia Nominal Requerida/Portadora	14.32	[W]
Margen por Precipitación	6.30	[dB]
Potencia Requerida con Lluvia	61.16	[W]

 Enlace Descendente (Morelos II-Móvil).

Potencia Radiada en saturación por TP	48.25	[dBW]
Back-off de Salida	4.50	[dB]
PIRE/Portadora desde el Satélite	36.43	[dB]
Pérdidas por Espacio Libre	205.30	[dB]
Pérdidas por Apuntamiento	0.80	[dB]
Pérdidas por Polarizador	0.50	[dB]
Pérdidas por Absorción Atmosférica	0.10	[dB]
Margen por Precipitación	7.20	[dB]
Constante de Boltzman	-228.60	[dBW/K]
Figura de Mérito G/T de la E.T.	-5.00	[dB/K]
Relación C/No Descendente	46.13	[dB-Hz]
Relación C/N Descendente	-26.04	[dB]
Relación C/I por Intermodulación en TP	15.00	[dB]
Relación C/X por Satélites Adyacentes	35.00	[dB]
Relación C/N Descendente del Sistema	-26.04	[dB]

Factor de Calidad del Enlace Global

Relación C/No Total del Sistema	46.12	[dB-Hz]
Relación C/N Total del Sistema	-26.05	[dB-Hz]
Relación Eb/No Total del Sistema	8.17	[dB]
Eb/No Requerida (BER=10 ⁻⁵)	9.70	[dB]
Disponibilidad del Enlace	99.80	%

Para lograr la relación Eb/No requerida, se necesitaría una potencia nominal/portadora de 20.96 [W] y de 89.43 [W] con lluvia.

Rango a cada uno de los Satélites

Distancia Cd Victoria-Morelos 1	36 627.44	[km]
Distancia Cd Victoria-Morelos 2	36 723.53	[km]
Elevación (al Morelos 1)	57.84 ^o	
Acimut	147.54 ^o	
Elevación (al Morelos 2)	56.03 ^o	
Acimut	142.16 ^o	

 Enlace de Retorno (Móvil-Central).

Estación Terrena Transmisora	Móvil: Cd. Victoria.
Estación Terrena Receptora	Central: México, D.F.
Diámetro Equivalente de la Antena Tx	0.11 [m]
Ganancia de la Antena Transmisora	21.80 [dBi]
Ganancia de la Antena Receptora	55.50 [dBi]
Temperatura Total del Sistema Rx	24.33 [dBK]
Densidad de Flujo en Saturación (DFS)	-89.46 [dBW/m ²]
Atenuador de Posición	9.00 [dB]
Figura de Mérito del Satélite	1.72 [dB/K]
Frecuencias de operación	14.25/11.95 [GHz]
Back-off in/out	8.00/4.50 [dB]

 Enlace Ascendente (Móvil-Morelos II).

Pérdidas por Absorción Atmosférica	0.10 [dB]
Pérdidas por Apuntamiento	0.50 [dB]
Back-off de entrada en el Transpondedor	8.00 [dB]
PIRE/Portadora desde la E.T.	20.80 [dBW]
Pérdidas por Espacio Libre	206.83 [dB]
Pérdidas por Polarizador	0.20 [dB]
Constante de Boltzman	-228.60 [dBW/K]
Margen por Precipitación	9.20 [dB]
Relación G/T del Transpondedor	1.72 [dB/K]
Relación C/No Ascendente	34.30 [dB-Hz]
Relación C/N Ascendente	-37.87 [dB]
Relación C/I por Intermodulación en HPA	15.00 [dB]
Relación C/X por Polarización Cruzada	-
Relación C/N Ascendente del Sistema	-37.87 [dB]

 Potencia Nominal Requerida en el HPA

PIRE/Portadora desde la E.T.	20.80	[dBW]
Pérdidas en Guías de Onda	2.00	[dB]
Back-off de Salida	0.00	[dB]
Ganancia de la Antena en Transmisión	21.80	[dBi]
Pérdidas en Eficiencia por Edad	(en Ganancia Ant)	
Potencia Nominal Requerida/Portadora	1.00	[dBW]
Potencia Nominal Requerida/Portadora	1.26	[W]
Margen por Precipitación	9.20	[dB]
Potencia Requerida con Lluvia	10.47	[W]

 Enlace Descendente (Morelos II-Central).

Potencia Radiada en saturación por TP	47.25	[dBW]
Back-off de Salida	4.50	[dB]
PIRE/Portadora desde el Satélite	-10.32	[dB]
Pérdidas por Espacio Libre	205.25	[dB]
Pérdidas por Apuntamiento	0.80	[dB]
Pérdidas por Polarizador	0.50	[dB]
Pérdidas por Absorción Atmosférica	0.10	[dB]
Margen por Precipitación	4.30	[dB]
Constante de Boltzman	-228.60	[dBW/K]
Figura de Mérito G/T de la E.T.	31.17	[dB/K]
Relación C/No Descendente	38.50	[dB-Hz]
Relación C/N Descendente	-33.67	[dB]
Relación C/I por Intermodulación en TP	15.00	[dB]
Relación C/X por Satélites Adyacentes	35.00	[dB]
Relación C/N Descendente del Sistema	-33.67	[dB]

Factor de Calidad del Enlace Global

Relación C/No Total del Sistema	32.90	[dB-Hz]
Relación C/N Total del Sistema	-39.27	[dB-Hz]
Relación Eb/No Total del Sistema	7.82	[dB]
Eb/No Requerida (BER=10 ⁻⁷)	9.70	[dB]
Disponibilidad del Enlace	99.80	%

 Enlace de Retorno de Posicionamiento (Móvil-Central).

Estación Terrena Transmisora	Móvil: Cd. Victoria.
Estación Terrena Receptora	Central: México, D.F.
Diámetro Equivalente de la Antena Tx	0.11 [m]
Ganancia de la Antena Transmisora	21.80 [dBi]
Ganancia de la Antena Receptora	51.80 [dBi]
Temperatura Total del Sistema Rx	24.33 [dBK]
Densidad de Flujo en Saturación (DFS)	-89.46 [dBW/m ²]
Atenuador de Posición	9.00 [dB]
Figura de Mérito del Satélite	1.72 [dB/K]
Frecuencias de operación	14.25/11.95 [GHz]
Back-off in/out	8.00/4.50 [dB]

 Enlace Ascendente (Móvil-Morelos I).

Pérdidas por Absorción Atmosférica	0.10 [dB]
Pérdidas por Apuntamiento	0.50 [dB]
Back-off de entrada en el Transpondedor	8.00 [dB]
PIRE/Portadora desde la E.T.	20.80 [dBW]
Pérdidas por Espacio Libre	206.88 [dB]
Pérdidas por Polarizador	0.20 [dB]
Constante de Boltzman	-228.60 [dBW/K]
Margen por Precipitación	9.20 [dB]
Relación G/T del Transpondedor	1.72 [dB/K]
Relación C/No Ascendente	34.32 [dB-Hz]
Relación C/N Ascendente	-37.85 [dB]
Relación C/I por Intermodulación en HPA	15.00 [dB]
Relación C/X por Polarización Cruzada	-
Relación C/N Ascendente del Sistema	-37.85 [dB]

 Potencia Nominal Requerida en el HPA

PIRE/Portadora desde la E.T.	20.80	[dBW]
Pérdidas en Guías de Onda	2.00	[dB]
Back-off de Salida	0.00	[dB]
Ganancia de la Antena en Transmisión	21.80	[dBi]
Pérdidas en Eficiencia por Edad	(en Ganancia Ant)	
Potencia Nominal Requerida/Portadora	1.00	[dBW]
Potencia Nominal Requerida/Portadora	1.26	[W]
Margen por Precipitación	9.20	[dB]
Potencia Requerida con Lluvia	10.47	[W]

 Enlace Descendente (Morelos I-Móvil).

Potencia Radiada en saturación por TP	47.25	[dBW]
Back-off de Salida	4.50	[dB]
PIRE/Portadora desde el Satélite	-10.30	[dB]
Pérdidas por Espacio Libre	205.23	[dB]
Pérdidas por Apuntamiento	0.80	[dB]
Pérdidas por Polarizador	0.50	[dB]
Pérdidas por Absorción Atmosférica	0.10	[dB]
Margen por Precipitación	4.30	[dB]
Constante de Boltzman	-228.60	[dBW/K]
Figura de Mérito G/T de la E.T.	27.47	[dB/K]
Relación C/No Descendente	34.84	[dB-Hz]
Relación C/N Descendente	-37.33	[dB]
Relación C/I por Intermodulación en TP	15.00	[dB]
Relación C/X por Satélites Adyacentes	35.00	[dB]
Relación C/N Descendente del Sistema	-37.33	[dB]

Factor de Calidad del Enlace Global

Relación C/No Total del Sistema	31.56	[dB-Hz]
Relación C/N Total del Sistema	-40.61	[dB-Hz]
Relación Eb/No Total del Sistema	6.48	[dB]
Eb/No Requerida (BER=10 ⁻⁵)	9.70	[dB]
Disponibilidad del Enlace	99.50	%

Resultados Completos para el Enlace México-Guadalajara.

Enlace de Ida (Central-Móvil).

Estación Terrena Transmisora	Central: México, D.F.
Estación Terrena Receptora	Móvil: Guadalajara.
Diámetro de la Antena Transmisora	5.60 [m]
Ganancia de la Antena Transmisora	57.20 [dBi]
Ganancia de la Antena Receptora	20.40 [dBi]
Temperatura Total del Sistema Rx	25.40 [dBK]
Densidad de Flujo en Saturación (DFS)	-90.16 [dBW/m ²]
Atenuador de Posición	9.00 [dB]
Figura de Mérito del Satélite	2.42 [dB/K]
Frecuencias de operación	14.25/11.95 [GHz]
Back-off in/out	8.00/4.50 [dB]

Enlace Ascendente (Central-Morelos II).

Pérdidas por Absorción Atmosférica	0.10 [dB]
Pérdidas por Apuntamiento	0.50 [dB]
Back-off de entrada en el Transpondedor	8.00 [dB]
PIRE/Portadora desde la E.T.	65.76 [dBW]
Pérdidas por Espacio Libre	206.78 [dB]
Pérdidas por Polarizador	0.20 [dB]
Constante de Boltzman	-228.60 [dBW/K]
Margen por Precipitación	6.30 [dB]
Relación G/T del Transpondedor	2.42 [dB/K]
Relación C/No Ascendente	82.92 [dB-Hz]
Relación C/N Ascendente	10.75 [dB]
Relación C/I por Intermodulación en HPA	15.00 [dB]
Relación C/X por Polarización Cruzada	- -
Relación C/N Ascendente del Sistema	9.36 [dB]

 Potencia Nominal Requerida en el HPA

PIRE/Portadora desde la E.T.	65.76	[dBW]
Pérdidas en Guías de Onda	3.00	[dB]
Back-off de Salida	0.00	[dB]
Ganancia de la Antena en Transmisión	57.20	[dB _i]
Pérdidas en Eficiencia por Edad	(en Ganancia Ant)	
Potencia Nominal Requerida/Portadora	11.56	[dBW]
Potencia Nominal Requerida/Portadora	14.32	[W]
Margen por Precipitación	6.30	[dB]
Potencia Requerida con Lluvia	61.16	[W]

 Enlace Descendente (Morelos II-Móvil).

Potencia Radiada en saturación por TP	48.05	[dBW]
Back-off de Salida	4.50	[dB]
PIRE/Portadora desde el Satélite	36.23	[dB]
Pérdidas por Espacio Libre	205.23	[dB]
Pérdidas por Apuntamiento	0.80	[dB]
Pérdidas por Polarizador	0.50	[dB]
Pérdidas por Absorción Atmosférica	0.10	[dB]
Margen por Precipitación	1.50	[dB]
Constante de Boltzman	-228.60	[dBW/K]
Figura de Mérito G/T de la E.T.	-5.00	[dB/K]
Relación C/N _o Descendente	46.70	[dB-Hz]
Relación C/N Descendente	-25.47	[dB]
Relación C/I por Intermodulación en TP	15.00	[dB]
Relación C/X por Satélites Adyacentes	35.00	[dB]
Relación C/N Descendente del Sistema	-25.47	[dB]

 Factor de Calidad del Enlace Global

Relación C/No Total del Sistema	46.69	[dB-Hz]
Relación C/N Total del Sistema	-25.48	[dB-Hz]
Relación Eb/No Total del Sistema	8.74	[dB]
Eb/No Requerida ($BER=10^{-5}$)	9.70	[dB]
Disponibilidad del Enlace	99.80	%

Para lograr la relación Eb/No requerida se necesitaría una potencia nominal/portadora de 18.39 [W] y de 78.43 [W] con lluvia.

 Rango a cada uno de los Satélites

Distancia Guadalajara-Morelos 1	36 375.18	[km]
Distancia Guadalajara-Morelos 2	36 447.98	[km]
Elevación (al Morelos 1)	63.12 ^o	
Acimut	153.23 ^o	
Elevación (al Morelos 2)	61.49 ^o	
Acimut	146.62 ^o	

Enlace de Retorno (Móvil-Central).

Estación Terrena Transmisora	Móvil: Guadalajara.
Estación Terrena Receptora	Central: México, D.F.
Diámetro Equivalente de la Antena Tx	0.11 [m]
Ganancia de la Antena Transmisora	21.80 [dBi]
Ganancia de la Antena Receptora	55.50 [dBi]
Temperatura Total del Sistema Rx	24.33 [dBK]
Densidad de Flujo en Saturación (DFS)	-90.00 [dBW/m ²]
Atenuador de Posición	9.00 [dB]
Figura de Mérito del Satélite	2.26 [dB/K]
Frecuencias de operación	14.25/11.95 [GHz]
Back-off in/out	8.00/4.50 [dB]

Enlace Ascendente (Móvil-Morelos II).

Pérdidas por Absorción Atmosférica	0.10 [dB]
Pérdidas por Apuntamiento	0.50 [dB]
Back-off de entrada en el Transpondedor	8.00 [dB]
PIRE/Portadora desde la E.T.	20.80 [dBW]
Pérdidas por Espacio Libre	206.76 [dB]
Pérdidas por Polarizador	0.20 [dB]
Constante de Boltzman	-228.60 [dBW/K]
Margen por Precipitación	8.50 [dB]
Relación G/T del Transpondedor	2.26 [dB/K]
Relación C/No Ascendente	35.60 [dB-Hz]
Relación C/N Ascendente	-36.57 [dB]
Relación C/I por Intermodulación en HPA	15.00 [dB]
Relación C/X por Polarización Cruzada	- -
Relación C/N Ascendente del Sistema	-36.57 [dB]

 Potencia Nominal Requerida en el HPA

PIRE/Portadora desde la E.T.	20.80	[dBW]
Pérdidas en Guías de Onda	2.00	[dB]
Back-off de Salida	0.00	[dB]
Ganancia de la Antena en Transmisión	21.80	[dBi]
Pérdidas en Eficiencia por Edad	(en Ganancia Ant)	
Potencia Nominal Requerida/Portadora	1.00	[dBW]
Potencia Nominal Requerida/Portadora	1.26	[W]
Margen por Precipitación	8.50	[dB]
Potencia Requerida con Lluvia	8.91	[W]

 Enlace Descendente (Morelos II-Central).

Potencia Radiada en saturación por TP	47.25	[dBW]
Back-off de Salida	4.50	[dB]
PIRE/Portadora desde el Satélite	-9.71	[dB]
Pérdidas por Espacio Libre	205.25	[dB]
Pérdidas por Apuntamiento	0.80	[dB]
Pérdidas por Polarizador	0.50	[dB]
Pérdidas por Absorción Atmosférica	0.10	[dB]
Margen por Precipitación	4.30	[dB]
Constante de Boltzman	-228.60	[dBW/K]
Figura de Mérito G/T de la E.T.	31.17	[dB/K]
Relación C/No Descendente	39.11	[dB-Hz]
Relación C/N Descendente	-33.03	[dB]
Relación C/I por Intermodulación en TP	15.00	[dB]
Relación C/X por Satélites Adyacentes	35.00	[dB]
Relación C/N Descendente del Sistema	-33.03	[dB]

Factor de Calidad del Enlace Global

Relación C/No Total del Sistema	34.00	[dB-Hz]
Relación C/N Total del Sistema	-38.17	[dB-Hz]
Relación Eb/No Total del Sistema	8.92	[dB]
Eb/No Requerida (BER=10 ⁻⁵)	9.70	[dB]
Disponibilidad del Enlace	99.80	%

 Enlace de Retorno de Posicionamiento (Móvil-Central).

Estación Terrena Transmisora	Móvil: Guadalajara.
Estación Terrena Receptora	Central: México, D.F.
Diámetro Equivalente de la Antena Tx	0.11 [m]
Ganancia de la Antena Transmisora	21.80 [dBi]
Ganancia de la Antena Receptora	51.80 [dBi]
Temperatura Total del Sistema Rx	24.33 [dBK]
Densidad de Flujo en Saturación (DFS)	-90.00 [dBW/m ²]
Atenuador de Posición	9.00 [dB]
Figura de Mérito del Satélite	2.26 [dB/K]
Frecuencias de operación	14.25/11.95 [GHz]
Back-off in/out	8.00/4.50 [dB]

 Enlace Ascendente (Móvil-Morelos I).

Pérdidas por Absorción Atmosférica	0.10 [dB]
Pérdidas por Apuntamiento	0.50 [dB]
Back-off de entrada en el Transpondedor	8.00 [dB]
PIRE/Portadora desde la E.T.	20.00 [dBW]
Pérdidas por Espacio Libre	206.74 [dB]
Pérdidas por Polarizador	0.20 [dB]
Constante de Boltzman	-228.60 [dBW/K]
Margen por Precipitación	8.50 [dB]
Relación G/T del Transpondedor	2.26 [dB/K]
Relación C/No Ascendente	35.62 [dB-Hz]
Relación C/N Ascendente	-36.55 [dB]
Relación C/I por Intermodulación en HPA	15.00 [dB]
Relación C/X por Polarización Cruzada	- -
Relación C/N Ascendente del Sistema	-36.55 [dB]

 Potencia Nominal Requerida en el HPA

PIRE/Portadora desde la E.T.	20.80	[dBW]
Pérdidas en Guías de Onda	2.00	[dB]
Back-off de Salida	0.00	[dB]
Ganancia de la Antena en Transmisión	21.80	[dBi]
Pérdidas en Hacia Tierra (en Ganancia Ant)		
Potencia Nominal Requerida/Portadora	1.00	[dBW]
Potencia Nominal Requerida/Portadora	1.26	[W]
Margen por Precipitación	8.50	[dB]
Potencia Requerida con Lluvia	8.91	[W]

 Enlace Descendente (Morelos I-Móvil).

Potencia Radiada en saturación por TP	47.25	[dBW]
Back-off de Salida	4.50	[dB]
PIRE/Portadora desde el Satélite	-9.70	[dB]
Pérdidas por Espacio Libre	205.23	[dB]
Pérdidas por Apuntamiento	0.80	[dB]
Pérdidas por Polarizador	0.50	[dB]
Pérdidas por Absorción Atmosférica	0.10	[dB]
Margen por Precipitación	4.30	[dB]
Constante de Boltzman	-228.60	[dBW/K]
Figura de Mérito G/T de la E.T.	27.47	[dB/K]
Relación C/No Descendente	35.44	[dB-Hz]
Relación C/N Descendente	-36.73	[dB]
Relación C/I por Intermodulación en TP	15.00	[dB]
Relación C/X por Satélites Adyacentes	35.00	[dB]
Relación C/N Descendente del Sistema	-36.73	[dB]

Factor de Calidad del Enlace Global

Relación C/No Total del Sistema	32.52	[dB-Hz]
Relación C/N Total del Sistema	-39.65	[dB-Hz]
Relación Eb/No Total del Sistema	7.48	[dB]
Eb/No Requerida (BER=10 ⁻⁵)	9.70	[dB]
Disponibilidad del Enlace	99.80	%

Resultados Completos para el Enlace México-México.

Enlace de Ida (Central-Móvil).

Estación Terrena Transmisora	Central: México, D.F.	
Estación Terrena Receptora	Móvil: México, D.F.	
Diámetro de la Antena Transmisora	5.60	[m]
Ganancia de la Antena Transmisora	57.20	[dBi]
Ganancia de la Antena Receptora	20.40	[dBi]
Temperatura Total del Sistema Rx	25.40	[dBK]
Densidad de Flujo en Saturación (DFS)	-90.16	[dBW/m ²]
Atenuador de Posición	9.00	[dB]
Figura de Mérito del Satélite	2.42	[dB/K]
Frecuencias de operación	14.25/11.95	[GHz]
Back-off in/out	8.00/4.50	[dB]

Enlace Ascendente (Central-Morelos II).

Pérdidas por Absorción Atmosférica	0.10	[dB]
Pérdidas por Apuntamiento	0.50	[dB]
Back-off de entrada en el Transpondedor	8.00	[dB]
PIRE/Portadora desde la E.T.	65.76	[dBW]
Pérdidas por Espacio Libre	206.78	[dB]
Pérdidas por Polarizador	0.20	[dB]
Constante de Boltzman	-228.60	[dBW/K]
Margen por Precipitación	6.30	[dB]
Relación G/T del Transpondedor	2.42	[dB/K]
Relación C/No Ascendente	82.92	[dB-Hz]
Relación C/N Ascendente	10.75	[dB]
Relación C/I por Intermodulación en HPA	15.00	[dB]
Relación C/X por Polarización Cruzada	-	-
Relación C/N Ascendente del Sistema	9.36	[dB]

Potencia Nominal Requerida en el HPA

PIRE/Portadora desde la E.T.	65.76	[dBW]
Pérdidas en Guías de Onda	3.00	[dB]
Back-off de Salida	0.00	[dB]
Ganancia de la Antena en Transmisión	57.20	[dBi]
Pérdidas en Eficiencia por Edad	(en Ganancia Ant)	
Potencia Nominal Requerida/Portadora	11.56	[dBW]
Potencia Nominal Requerida/Portadora	14.32	[W]
Margen por Precipitación	6.30	[dB]
Potencia Requerida con Lluvia	61.16	[W]

Enlace Descendente (Morelos II-Móvil).

Potencia Radiada en saturación por TP	44.25	[dBW]
Back-off de Salida	4.50	[dB]
PIRE/Portadora desde el Satélite	35.43	[dB]
Pérdidas por Espacio Libre	205.25	[dB]
Pérdidas por Apuntamiento	0.80	[dB]
Pérdidas por Polarizador	0.50	[dB]
Pérdidas por Absorción Atmosférica	0.10	[dB]
Margen por Precipitación	4.30	[dB]
Constante de Boltzman	-228.60	[dBW/K]
Figura de Mérito G/T de la E.T.	-5.00	[dB/K]
Relación C/No Descendente	48.08	[dB-Hz]
Relación C/N Descendente	-24.09	[dB]
Relación C/I por Intermodulación en TP	15.00	[dB]
Relación C/X por Satélites Adyacentes	35.00	[dB]
Relación C/N Descendente del Sistema	-24.09	[dB]

 Factor de Calidad del Enlace Global

Relación C/No Total del Sistema	48.07	[dB-Hz]
Relación C/N Total del Sistema	-24.10	[dB-Hz]
Relación Eb/No Total del Sistema	10.12	[dB]
Eb/No Requerida (BER=10 ⁻⁵)	9.70	[dB]
Disponibilidad del Enlace	99.90	%

 Rango a cada uno de los Satélites

Distancia México-Morelos 1	36 428.25	[km]
Distancia México-Morelos 2	36 528.60	[km]
Elevación (al Morelos 1)	61.91 ^o	
Acimut	142.04 ^o	
Elevación (al Morelos 2)	59.78 ^o	
Acimut	136.44 ^o	

 Enlace de Retorno (Móvil-Central).

Estación Terrena Transmisora	Móvil: México, D.F.	
Estación Terrena Receptora	Central: México, D.F.	
Diámetro Equivalente de la Antena Tx	0.11	[m]
Ganancia de la Antena Transmisora	21.80	[dBi]
Ganancia de la Antena Receptora	55.50	[dBi]
Temperatura Total del Sistema Rx	24.33	[dBK]
Densidad de Flujo en Saturación (DFS)	-90.16	[dBW/m ²]
Atenuador de Posición	9.00	[dB]
Figura de Mérito del Satélite	2.42	[dB/K]
Frecuencias de operación	14.25/11.95	[GHz]
Back-off in/out	8.00/4.50	[dB]

 Enlace Ascendente (Móvil-Morelos II).

Pérdidas por Absorción Atmosférica	0.10	[dB]
Pérdidas por Apuntamiento	0.50	[dB]
Back-off de entrada en el Transpondedor	8.00	[dB]
PIRE/Portadora desde la E.T.	20.80	[dBW]
Pérdidas por Espacio Libre	206.78	[dB]
Pérdidas por Polarizador	0.20	[dB]
Constante de Boltzman	-228.60	[dBW/K]
Margen por Precipitación	6.30	[dB]
Relación G/T del Transpondedor	2.42	[dB/K]
Relación C/No Ascendente	37.95	[dB-Hz]
Relación C/N Ascendente	-34.22	[dB]
Relación C/I por Intermodulación en HPA	15.00	[dB]
Relación C/X por Polarización Cruzada	-	-
Relación C/N Ascendente del Sistema	-34.22	[dB]

Potencia Nominal Requerida en el HPA

PIRE/Portadora desde la E.T.	20.80	[dBW]
Pérdidas en Guías de Onda	2.00	[dB]
Back-off de Salida	0.00	[dB]
Ganancia de la Antena en Transmisión	21.80	[dBi]
Pérdidas en Eficiencia por Edad	(en Ganancia Ant)	
Potencia Nominal Requerida/Portadora	1.00	[dBW]
Potencia Nominal Requerida/Portadora	1.26	[W]
Margen por Precipitación	6.30	[dB]
Potencia Requerida con Lluvia	5.37	[W]

Enlace Descendente (Morelos II-Central).

Potencia Radiada en saturación por TP	47.25	[dBW]
Back-off de Salida	4.50	[dB]
PIRE/Portadora desde el Satélite	-9.57	[dB]
Pérdidas por Espacio Libre	205.25	[dB]
Pérdidas por Apuntamiento	0.80	[dB]
Pérdidas por Polarizador	0.50	[dB]
Pérdidas por Absorción Atmosférica	0.10	[dB]
Margen por Precipitación	4.30	[dB]
Constante de Boltzman	-228.60	[dBW/K]
Figura de Mérito G/T de la E.T.	31.17	[dB/K]
Relación C/No Descendente	39.25	[dB-Hz]
Relación C/N Descendente	-32.92	[dB]
Relación C/I por Intermodulación en TP	15.00	[dB]
Relación C/X por Satélites Adyacentes	35.00	[dB]
Relación C/N Descendente del Sistema	-32.92	[dB]

Factor de Calidad del Enlace Global

Relación C/No Total del Sistema	35.54	[dB-Hz]
Relación C/N Total del Sistema	-36.63	[dB-Hz]
Relación Eb/No Total del Sistema	10.46	[dB]
Eb/No Requerida (BER=10 ⁻⁵)	9.70	[dB]
Disponibilidad del Enlace	99.90	%

 Enlace de Retorno de Posicionamiento (Móvil-Central).

Estación Terrena Transmisora	Móvil: México, D.F.
Estación Terrena Receptora	Central: México, D.F.
Diámetro Equivalente de la Antena Tx	0.11 [m]
Ganancia de la Antena Transmisora	21.80 [dBi]
Ganancia de la Antena Receptora	51.80 [dBi]
Temperatura Total del Sistema Rx	24.33 [dBK]
Densidad de Flujo en Saturación (DFS)	-90.16 [dBW/m ²]
Atenuador de Posición	9.00 [dB]
Figura de Mérito del Satélite	2.42 [dB/K]
Frecuencias de operación	14.25/11.95 [GHz]
Back-off in/out	8.00/4.50 [dB]

Enlace Ascendente (Móvil-Morelos I).

Pérdidas por Absorción Atmosférica	0.10 [dB]
Pérdidas por Apuntamiento	0.50 [dB]
Back-off de entrada en el Transpondedor	8.00 [dB]
PIRE/Portadora desde la E.T.	20.80 [dBW]
Pérdidas por Espacio Libre	206.78 [dB]
Pérdidas por Polarizador	0.20 [dB]
Constante de Boltzman	-228.60 [dBW/K]
Margen por Precipitación	6.30 [dB]
Relación G/T del Transpondedor	2.42 [dB/K]
Relación C/No Ascendente	37.97 [dB-Hz]
Relación C/N Ascendente	-34.20 [dB]
Relación C/I por Intermodulación en HPA	15.00 [dB]
Relación C/X por Polarización Cruzada	- -
Relación C/N Ascendente del Sistema	-34.20 [dB]

 Potencia Nominal Requerida en el HPA

PIRE/Portadora desde la E.T.	20.80	[dBW]
Pérdidas en Guías de Onda	2.00	[dB]
Back-off de Salida	0.00	[dB]
Ganancia de la Antena en Transmisión	21.80	[dBi]
Pérdidas en Eficiencia por Edad	(en Ganancia Ant)	
Potencia Nominal Requerida/Portadora	1.00	[dBW]
Potencia Nominal Requerida/Portadora	1.26	[W]
Margen por Precipitación	6.30	[dB]
Potencia Requerida con Lluvia	5.37	[W]

 Enlace Descendente (Morelos I-Móvil).

Potencia Radiada en saturación por TP	47.25	[dBW]
Back-off de Salida	4.50	[dB]
PIRE/Portadora desde el Satélite	-9.55	[dB]
Pérdidas por Espacio Libre	205.23	[dB]
Pérdidas por Apuntamiento	0.80	[dB]
Pérdidas por Polarizador	0.50	[dB]
Pérdidas por Absorción Atmosférica	0.10	[dB]
Margen por Precipitación	4.30	[dB]
Constante de Boltzman	-228.60	[dBW/K]
Figura de Mérito G/T de la E.T.	27.47	[dB/K]
Relación C/No Descendente	35.59	[dB-Hz]
Relación C/N Descendente	-36.58	[dB]
Relación C/I por Intermodulación en TP	15.00	[dB]
Relación C/X por Satélites Adyacentes	35.00	[dB]
Relación C/N Descendente del Sistema	-36.58	[dB]

Factor de Calidad del Enlace Global

Relación C/No Total del Sistema	33.61	[dB-Hz]
Relación C/N Total del Sistema	-36.33	[dB-Hz]
Relación Eb/No Total del Sistema	8.53	[dB]
Eb/No Requerida (BER=10 ⁻⁵)	9.70	[dB]
Disponibilidad del Enlace	99.80	%

Resultados Completos para el Enlace México-Tapachula.

Enlace de Ida (Central-Móvil).

Estación Terrena Transmisora	Central: México, D.F.	
Estación Terrena Receptora	Móvil: Tapachula,	
Diámetro de la Antena Transmisora	5.60	[m]
Ganancia de la Antena Transmisora	57.20	[dBi]
Ganancia de la Antena Receptora	20.40	[dBi]
Temperatura Total del Sistema Rx	25.40	[dBK]
Densidad de Flujo en Saturación (DFS)	-90.16	[dBW/m ²]
Atenuador de Posición	9.00	[dB]
Figura de Mérito del Satélite	2.42	[dB/K]
Frecuencias de operación	14.25/11.95	[GHz]
Back-off in/out	8.00/4.50	[dB]

Enlace Ascendente (Central-Morelos II).

Pérdidas por Absorción Atmosférica	9.10	[dB]
Pérdidas por Apuntamiento	0.50	[dB]
Back-off de entrada en el Transpondedor	8.00	[dB]
PIRE/Portadora desde la E.T.	65.76	[dBW]
Pérdidas por Espacio Libre	206.78	[dB]
Pérdidas por Polarizador	0.20	[dB]
Constante de Boltzman	-228.60	[dBW/K]
Margen por Precipitación	6.30	[dB]
Relación G/T del Transpondedor	2.42	[dB/K]
Relación C/No Ascendente	82.92	[dB-Hz]
Relación C/N Ascendente	10.75	[dB]
Relación C/I por Intermodulación en HPA	15.00	[dB]
Relación C/X por Polarización Cruzada	-	-
Relación C/N Ascendente del Sistema	9.36	[dB]

Potencia Nominal Requerida en el HPA

PIRE/Portadora desde la E.T.	65.76	[dBW]
Pérdidas en Guías de Onda	3.00	[dB]
Back-off de Salida	0.00	[dB]
Ganancia de la Antena en Transmisión	57.20	[dBi]
Pérdidas en Eficiencia por Edad	(en Ganancia Ant)	
Potencia Nominal Requerida/Portadora	11.56	[dBW]
Potencia Nominal Requerida/Portadora	14.32	[W]
Margen por Precipitación	6.30	[dB]
Potencia Requerida con Lluvia	61.16	[W]

Enlace Descendente (Morelos II-Móvil).

Potencia Radiada en saturación por TP	46.85	[dBW]
Back-off de Salida	4.50	[dB]
PIRE/Portadora desde el Satélite	35.03	[dB]
Pérdidas por Espacio Libre	205.28	[dB]
Pérdidas por Apuntamiento	0.80	[dB]
Pérdidas por Polarizador	0.50	[dB]
Pérdidas por Absorción Atmosférica	0.10	[dB]
Margen por Precipitación	6.20	[dB]
Constante de Boltzman	-228.60	[dBW/K]
Figura de Mérito G/T de la E.T.	-5.00	[dB/K]
Relación C/No Descendente	45.75	[dB-Hz]
Relación C/N Descendente	-26.42	[dB]
Relación C/I por Intermodulación en TP	15.00	[dB]
Relación C/X por Satélites Adyacentes	35.00	[dB]
Relación C/N Descendente del Sistema	-26.42	[dB]

 Factor de Calidad del Enlace Global

Relación C/No Total del Sistema	45.74	[dB-Hz]
Relación C/N Total del Sistema	-26.43	[dB-Hz]
Relación Eb/No Total del Sistema	7.79	[dB]
Eb/No Requerida (BER=10 ⁻⁵)	9.70	[dB]
Disponibilidad del Enlace	99.80	%

 Rango a cada uno de los Satélites

Distancia Tapachula-Morelos 1	36 524.51	[km]
Distancia Tapachula-Morelos 2	36 668.22	[km]
Elevación (al Morelos 1)	59.90 ^o	
Acimut	123.50 ^o	
Elevación (al Morelos 2)	57.06 ^o	
Acimut	119.75 ^o	

 Enlace de Retorno (Móvil-Central).

Estación Terrena Transmisora	Móvil: Tapachula.
Estación Terrena Receptora	Central: México, D.F.
Diámetro Equivalente de la Antena Tx	0.11 [m]
Ganancia de la Antena Transmisora	21.80 [dBi]
Ganancia de la Antena Receptora	55.50 [dBi]
Temperatura Total del Sistema Rx	24.33 [dBK]
Densidad de Flujo en Saturación (DFS)	-89.32 [dBW/m ²]
Atenuador de Posición	9.00 [dB]
Figura de Mérito del Satélite	1.58 [dB/K]
Frecuencias de operación	14.25/11.95 [GHz]
Back-off in/out	8.00/4.50 [dB]

 Enlace Ascendente (Móvil-Morelos II).

Pérdidas por Absorción Atmosférica	0.10 [dB]
Pérdidas por Apuntamiento	0.50 [dB]
Back-off de entrada en el Transpondedor	8.00 [dB]
PIRE/Portadora desde la E.T.	20.80 [dBW]
Pérdidas por Espacio Libre	206.81 [dB]
Pérdidas por Polarizador	0.20 [dB]
Constante de Boltzman	-228.60 [dBW/K]
Margen por Precipitación	8.20 [dB]
Relación G/T del Transpondedor	1.58 [dB/K]
Relación C/N ₀ Ascendente	35.17 [dB-Hz]
Relación C/N Ascendente	-37.00 [dB]
Relación C/I por Intermodulación en HPA	15.00 [dB]
Relación C/X por Polarización Cruzada	- -
Relación C/N Ascendente del Sistema	-37.00 [dB]

Potencia Nominal Requerida en el HPA

PIRE/Portadora desde la E.T.	20.80	[dBW]
Pérdidas en Guías de Onda	2.00	[dB]
Back-off de Salida	0.00	[dB]
Ganancia de la Antena en Transmisión	21.80	[dBi]
Pérdidas en Eficiencia por Edad	(en Ganancia Ant)	
Potencia Nominal Requerida/Portadora	1.00	[dBW]
Potencia Nominal Requerida/Portadora	1.25	[W]
Margen por Precipitación	8.20	[dB]
Potencia Requerida con Lluvia	8.32	[W]

Enlace Descendente (Morelos II-Central).

Potencia Radiada en saturación por TP	47.25	[dBW]
Back-off de Salida	4.50	[dB]
PIRE/Portadora desde el Satélite	-10.45	[dB]
Pérdidas por Espacio Libre	205.25	[dB]
Pérdidas por Apuntamiento	0.80	[dB]
Pérdidas por Polarizador	0.50	[dB]
Pérdidas por Absorción Atmosférica	0.10	[dB]
Margen por Precipitación	4.30	[dB]
Constante de Boltzman	-228.60	[dBW/K]
Figura de Mérito G/T de la E.T.	31.17	[dB/K]
Relación C/No Descendente	38.37	[dB-Hz]
Relación C/N Descendente	-33.80	[dB]
Relación C/I por Intermodulación en TP	15.00	[dB]
Relación C/X por Satélites Adyacentes	35.00	[dB]
Relación C/N Descendente del Sistema	-33.80	[dB]

Factor de Calidad del Enlace Global

Relación C/No Total del Sistema	33.47	[dB-Hz]
Relación C/N Total del Sistema	-38.70	[dB-Hz]
Relación Eb/No Total del Sistema	8.39	[dB]
Eb/No Requerida (BER=10 ⁻⁵)	9.70	[dB]
Disponibilidad del Enlace	99.80	%

 Enlace de Retorno de Posicionamiento (Móvil-Central).

Estación Terrena Transmisora	Móvil: Tapachula.
Estación Terrena Receptora	Central: México, D.F.
Diámetro Equivalente de la Antena Tx	0.11 [m]
Ganancia de la Antena Transmisora	21.80 [dBi]
Ganancia de la Antena Receptora	51.80 [dBi]
Temperatura Total del Sistema Rx	24.33 [dBK]
Densidad de Flujo en Saturación (DFS)	-89.32 [dBW/m ²]
Atenuador de Posición	9.00 [dB]
Figura de Mérito del Satélite	1.58 [dB/K]
Frecuencias de operación	14.25/11.95 [GHz]
Back-off in/out	8.00/4.50 [dB]

 Enlace Ascendente (Móvil-Morelos I).

Pérdidas por Absorción Atmosférica	0.10 [dB]
Pérdidas por Apuntamiento	0.50 [dB]
Back-off de entrada en el Transpondedor	8.00 [dB]
PIRE/Portadora desde la E.T.	20.80 [dBW]
Pérdidas por Espacio Libre	206.78 [dB]
Pérdidas por Polarizador	0.20 [dB]
Constante de Boltzman	-228.60 [dBW/K]
Margen por Precipitación	8.20 [dB]
Relación G/T del Transpondedor	1.58 [dB/K]
Relación C/No Ascendente	35.21 [dB-Hz]
Relación C/N Ascendente	-36.96 [dB]
Relación C/I por Intermodulación en HPA	15.00 [dB]
Relación C/X por Polarización Cruzada	- -
Relación C/N Ascendente del Sistema	-36.96 [dB]

Potencia Nominal Requerida en el HPA

PIRE/Portadora desde la E.T.	20.80	[dBW]
Pérdidas en Guías de Onda	2.00	[dB]
Back-off de Salida	0.00	[dB]
Ganancia de la Antena en Transmisión	21.80	[dBi]
Pérdidas en Eficiencia por Edad (en Ganancia Ant)		
Potencia Nominal Requerida/Portadora	1.00	[dBW]
Potencia Nominal Requerida/Portadora	1.26	[W]
Margen por Precipitación	8.20	[dB]
Potencia Requerida con Lluvia	8.32	[W]

Enlace Descendente (Morelos I-Móvil).

Potencia Radiada en saturación por TP	47.25	[dBW]
Back-off de Salida	4.50	[dB]
PIRE/Portadora desde el Satélite	-10.41	[dB]
Pérdidas por Espacio Libre	205.23	[dB]
Pérdidas por Apuntamiento	0.80	[dB]
Pérdidas por Polarizador	0.50	[dB]
Pérdidas por Absorción Atmosférica	0.10	[dB]
Margen por Precipitación	4.30	[dB]
Constante de Boltzman	-228.60	[dBW/K]
Figura de Mérito G/T de la E.T.	27.47	[dB/K]
Relación C/N Descendente	34.73	[dB-Hz]
Relación C/N Descendente	-37.44	[dB]
Relación C/I por Intermodulación en TP	15.00	[dB]
Relación C/X por Satélites Adyacentes	35.00	[dB]
Relación C/N Descendente del Sistema	-37.44	[dB]

Factor de Calidad del Enlace Global

Relación C/N _o Total del Sistema	31.95	[dB-Hz]
Relación C/N Total del Sistema	-40.22	[dB-Hz]
Relación Eb/N _o Total del Sistema	6.87	[dB]
Eb/N _o Requerida (BER=10 ⁻⁵)	9.70	[dB]
Disponibilidad del Enlace	99.50	%

APENDICE C

SISTEMA DE SATELITES MORELOS.

Como el sistema propuesto utiliza los recursos disponibles, los satélites correspondientes son los Morelos, y es por eso que se hace una breve descripción de su subsistema de comunicaciones. El sistema de RDSS requiere de dos segmentos de transpondedor del satélite Morelos 2 para la transmisión de mensajes, y un segmento de transpondedor del Morelos 1 para complementar la función de determinación de posición; dichos segmentos de transpondedor son de banda Ku. El ancho de banda de los tres segmentos es de 16.5 MHz, tal y como la UIT recomienda para el servicio de RDSS.

Descripción

Como el sistema operará únicamente con los transpondedores de banda Ku de los satélites Morelos, a continuación se describen sus características más importantes:

Cada uno de los satélites Morelos cuenta con cuatro canales de banda Ku cuyo ancho de banda es de 108 MHz. En conjunto, el ancho de banda total opera, en la recepción, en la banda de 14.0 a 14.5 GHz, y en la transmisión en la banda de 11.7 a 12.2 GHz, haciendo notar que, a diferencia de la banda C, no se utiliza el reuso de frecuencias. El plan de frecuencias para la banda Ku se muestra en la figura C.1.

En la figura C.2 se muestra el diagrama de bloques del subsistema de comunicaciones en banda Ku de los satélites Morelos. Se puede observar que las señales de la banda de 14 GHz son recibidas con polarización vertical por el arreglo planar del satélite. Posteriormente pasan a uno de los dos receptores redundantes donde son filtradas y, sobretodo, su frecuencia es cambiada a la banda de 12 GHz. La siguiente etapa es un

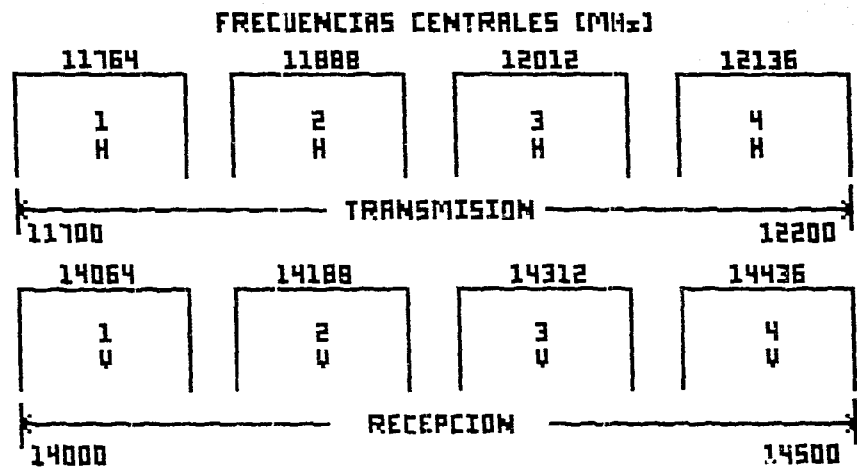


FIGURA C.1 PLAN DE POLARIZACION Y FRECUENCIA EN LA BANDA KU.

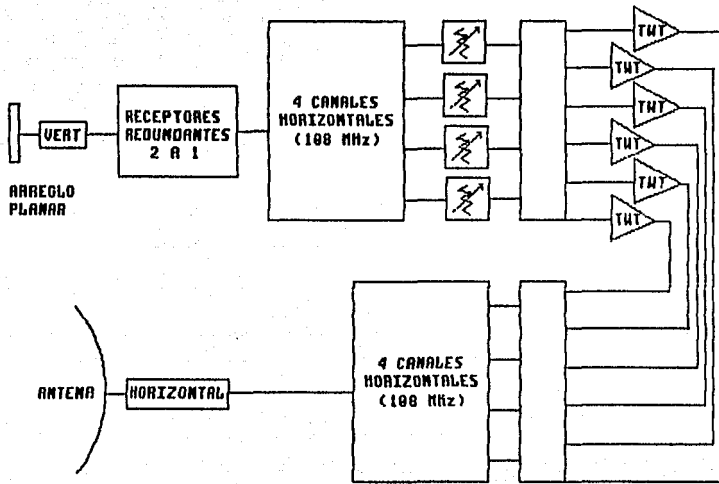


FIGURA C.2 SUBSISTEMA DE COMUNICACIONES DEL SISTEMA MORELOS (BANDA KJ)

demultiplexor que separa las señales recibidas para encaminarlas a la etapa de amplificación. Esta se realiza con TWT's de 19.4 W para cada uno de los cuatro canales (más dos de reserva). Después las señales son conmutadas y re combinadas en un multiplexor de salida para ser retransmitidas en la banda de 12 GHz por la antena parabólica o plato del satélite con polarización horizontal.

BIBLIOGRAFIA.

-SATELLITE COMMUNICATIONS

Gagliardi, Robert M.

Editorial Van Nostrand Reinhold.

New York, U.S.A., 1991

-WORLD SATELLITE COMMUNICATIONS AND DESIGN EARTH STATIONS

Ackroyd, Brian

Editorial BSP Professional Books

Great Britain, 1990

-COMMUNICATIONS SATELLITE HANDBOOK

Morgan; Gordon

Editorial John Wiley and Sons, Inc.

U.S.A., 1989

-DIGITAL COMMUNICATIONS WITH FIBER OPTICS AND SATELLITE APPLICATIONS

Killen, Harold B.

Editorial Prentice Hall

New Jersey, U.S.A., 1988

-RADIO DETERMINATION SATELLITE SERVICE

Briskman, Robert D.

Proceedings of the IEEE, Vol. 78, No. 7, pp 1096-1106

U.S.A., Jul 1990

**-LOCSTAR: UN SERVICE DE RADIOREPERAGE PAR SATELLITES POUR
L EUROPE**

Rosso, Raymond.

L Aéronautique et l Astronautique, No. 142, pp 21-27
France, Mar 1990

-VEHICLE TERMINAL ANTENNAS FOR MOBILE SATELLITE APPLICATIONS
Kumar, A.

VETEC 90: 40th IEEE Vehicular Technology Conference
Vol. 1, pp 13-18

New York, U.S.A., 1990

**-THROUGHPUT ANALYSIS OF CDMA ACCESS POLICIES IN RADIO
DETERMINATION SATELLITE SERVICE**

Pond, L.C. ; Li, V.O.K.

GLOBECOM 89: IEEE Global Telecommunications Conference
Vol. 1, pp 617-621

New York, U.S.A., 1989

**-Omnitracs: A COMMERCIAL Ku-BAND MOBILE SATELLITE TERMINAL
AND ITS APPLICABILITY TO MILITARY MOBILE TERMINALS**

Antonio, Franklin; Gilhousen, Klein; Jacobs, Irwin.

MILCOM 88: IEEE Military Communications Conference
Vol. 3, pp 761-764

New York, U.S.A., 1988

-IMPLEMENTATION OF GEOSTAR RDSS SPREAD SPECTRUM RECEIVER
Motamedi, Masound; Briskman Robert B.

GLOBECOM 87: IEEE Global Telecommunications Conference
Vol. 3, pp 1675-1679

New York, U.S.A., 1987

**-RADIODETERMINATION SATELLITE SERVICE: APPLICATIONS IN
RAILROAD MANAGEMENT**

Williams, C.A.

**VETEC 86: 36th IEEE Vehicular Technology Conference
pp 395-397**

New York, U.S.A., 1986

-RADIODETERMINATION SATELLITE SERVICE

Rothblatt, M.A.

**EASCON 85: 18th IEEE Annual Aerospace Systems Conference
pp 29-35**

New York, U.S.A., 1985

**-RADIODETERMINATION SATELLITE SERVICE INTERNATIONAL TECHNICAL
COORDINATING COMMITTEE**

Proceedings, Third Meeting

Federal Republic of Germany, Aug 1989

**-CONSIDERACIONES TECNICAS Y DE EXPLOTACION PARA EL SERVICIO
DE RADIODETERMINACION POR SATELITE EN LAS BANDAS 9 Y 10**

CCIR Comité Consultivo Internacional de Radio

XVII Asamblea Plenaria, Informe 1050

Düsseldorf, Alemania, 1990

-ANUARIO ESTADISTICO DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS 88-89

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática

México, 1990