

21 24



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

REDES PRIVADAS PARA TRANSMISION DE DATOS Y VOZ VIA SATELITE 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 :
 DANIEL CALDERON MACIAS
 GUADALUPE GAMEZ MONTES
 LUCIANO HERNANDEZ QUINTERO
 MIGUEL MAYA AGUILAR
 ALEJANDRO PEREZ MARROQUIN



DIRECTOR DE TESIS: ING. SALVADOR LANDEROS AYALA

FALLA DE ORIGEN

MEXICO, D. F.

OCTUBRE 1990



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.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS 1

1

CARACTERISTICAS TECNICAS DEL SISTEMA DE SATELITES MORELOS 1

Introducción 1
SegmentoEspacial 1

Subsistema de Comunicaciones 2
Subsistema de Telemetría Rastreo y Comando 10
Subsistema de Control de Orientación 20
Subsistema de Propulsión 24
Subsistema de Potencia Eléctrica 26
Subsistema de Control Térmico 28

2

INFLUENCIA DEL MEDIO AMBIENTE EN LOS ENLACES VIA SATELITE, ECUACIONES DE CALCULO Y SOLUCION POR COMPUTADORA 31

Introducción 31

Ruido 32

Ruido Interno 32
Ruido Externo 34
Ruido de Intermodulación 35

Efectos de Atenuación	37
Efectos por Hidrometeoros	37
Atenuación de las Ondas	37
Componentes Gaseosas en la Atmósfera	38
Márgenes de Atenuación por Precipitación	39
Atenuación en el Espacio Libre	47
Atenuación Producida por Hidrometeoros distintos de la lluvia	48
Apuntamiento	49
Control de Potencia	50
Back-Off	56
Deducción de las Ecuaciones de Enlace	58
Enlace Ascendente	61
Enlace Descendente	61
Temperatura de Ruido	63
Figura de Ruido	64
Descripción del Programa para Cálculos de Enlace	75
Ejemplo de Cálculo de Enlace	93

3

ESQUEMAS DE MODULACION Y TECNICAS DE ACCESO 100

Introducción	101
Esquemas de Modulación	102
Modulación Analógica	102
Modulación Digital	102
Tratamiento de las Señales para Corregir Errores	108
Técnicas de Acceso Múltiple	111
Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA)	113
SCPC (Canal Único por Portadora)	116

TDM-FDM-FDMA	117
Acceso Múltiple por División en el Tiempo (TDMA)	118
Acceso Múltiple por División de Código (CDMA)	120
Comparación de las Técnicas de Acceso Múltiple	121
Modulación y Técnicas de Acceso en el Sistema de Satélites Morelos	124

4

DESCRIPCION DE LAS REDES ESTUDIADAS 125

Introducción	126
Análisis de las redes	127
Topología	127
Redes Privadas en México	129

5

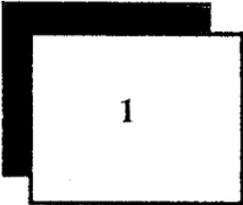
EVALUACION TECNICA DE LAS REDES 165

Introducción	166
Evaluación Técnica de las Redes	167

6

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS 179

Conclusiones y Perspectivas	180
Apéndice	187
Bibliografía	188



1

**CARACTERISTICAS
TECNICAS DEL
SISTEMA DE
SATELITES MORELOS**

INTRODUCCION

En el presente capítulo se exponen las características técnicas del Sistema de Satélites Morelos atendiendo, exclusivamente, al segmento espacial. Con esta tónica, en primer término se presentan sus características físicas. En segundo término, y considerando la importancia que reviste para la totalidad del presente trabajo, se explica el subsistema de comunicaciones de manera más detallada. Así pues, se indican las características de los transpondedores como son sus anchos de banda, las antenas que se utilizan y lo relativo a los modos de operación del subsistema.

Es evidente que la información incluida en este capítulo ya ha sido tratada en forma abundante por varias publicaciones (SCT en particular); no obstante, se consideró importante presentarla en virtud de que a lo largo de este trabajo se hará referencia a ella.

Posteriormente al subsistema de comunicaciones se analizarán someramente los subsistemas de telemetría, rastreo y comando; de control de orientación; de propulsión; de energía eléctrica y finalmente de control térmico. Cabe hacer notar que el contenido de este capítulo será fundamental para los capítulos IV y V.

SEGMENTO ESPACIAL

El Sistema de Satélites Morelos consta de dos satélites de telecomunicaciones con características idénticas. El Morelos I fue lanzado el 17 de junio de 1985, mientras que el Morelos II fue puesto en órbita el 26 de noviembre de ese mismo año. Así pues, a pesar de que los dos satélites fueron diseñados para tener una vida de operación en órbita de al menos 9 años, el Morelos II, por haber sido concebido como un satélite de respaldo del Morelos I pero con posibilidades de ofrecer servicios sujetos a interrupciones, se ubicó en una órbita de almacenamiento, considerando la alta confiabilidad del Morelos I y el significativo ahorro de combustible, permitiendo prolongar su vida en un período estimado de 3 años más.

Ambos satélites pertenecen a la serie HS-376, fabricados por Hughes

Communications International, Inc. Tienen forma cilíndrica con diámetro de 216 (cm) y altura de 660 (cm) con las antenas y el panel solar desplegados. Su masa inicial en órbita es de 666 (kg), de los cuales 145 (kg) corresponden a hidracina (combustible). Los dos satélites han quedado colocados en órbita circular sobre el plano del Ecuador a una distancia aproximada de 36,000 (km) y en una posición de 113.5°W para el Morelos I Y 116.5°W para el Morelos II, sobre el arco orbital.

Las dos partes principales de ambos satélites son: La sección de giro, en la que se alojan los subsistemas de control de orientación, propulsión y energía eléctrica principalmente; en tanto que la sección de desgiro consiste en una plataforma cuyas funciones fundamentales son proveer una unidad de soporte y transferencia de energía y señales para los subsistemas de comunicaciones, telemetría, rastreo y comando. Debe indicarse que el subsistema de control térmico está alojado en ambas secciones porque cuenta con diversos componentes.

El Sistema de Satélites Morelos se diseñó para cursar tráfico de cualquier tipo de servicio de telecomunicaciones. Cada uno de los satélites está dotado con equipo para comunicaciones que utiliza las bandas de frecuencia Cy Ku; es decir, son satélites de tipo híbrido en cuanto a frecuencia. El área de cobertura de los satélites Morelos abarca toda la República Mexicana.

SUBSISTEMA DE COMUNICACIONES.

El subsistema de comunicaciones de los satélites Morelos está constituido por una sección de antenas y por una sección de 22 canales repetidores de conversión simple (transpondedores) que operan tanto en banda C (6/4 GHz) como en banda Ku (14/12 GHz).

En banda C se tienen 12 canales de banda agosta (36 MHz) y 6 de banda ancha (72 MHz), empleando la técnica de reuso de frecuencias. En cuanto a banda Ku se tienen 4 canales de banda ancha (108 MHz), no se emplea el reuso de frecuencias.

En términos de equivalencia a transpondedor estándar, la capacidad total por satélite es de 36 transpondedores de 36 MHz en virtud de que un canal de 72 MHz es el doble de 36 MHz y a su vez un canal de 108 MHz es el triple de 36 MHz. Esto significa que un satélite Morelos tiene la capacidad de conducir 36 canales de televisión simultáneamente o su equivalente

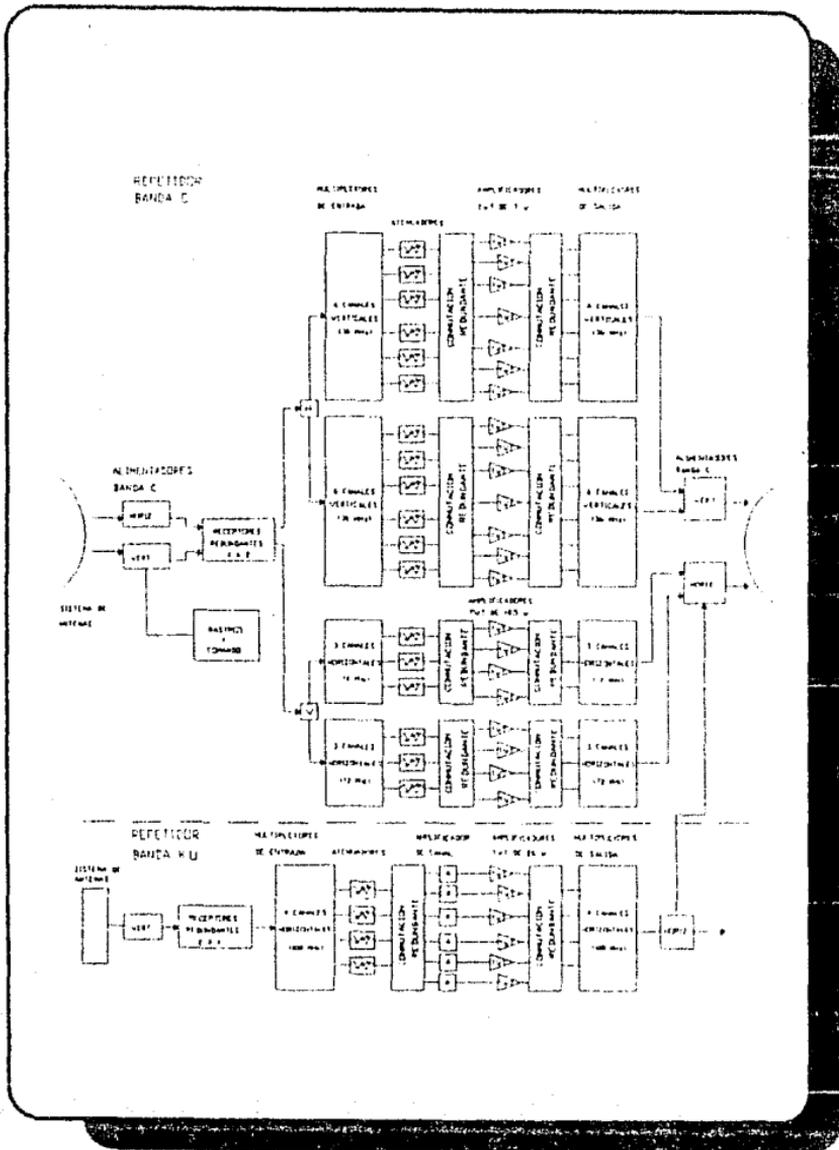


Figura 1.2 Diagrama del subsistema de comunicaciones.

En este subsistema las señales electromagnéticas de 6 GHz son recibidas en el reflector parabólico y concentradas en los alimentadores, estas señales, convertidas a señales eléctricas, pasan por un receptor encargado de trasladar la frecuencia de 6 GHz a 4 GHz; una vez que estas señales salen del receptor, se canalizan por separado en los multiplexores de entrada por medio de filtros paso banda, cada canal pasa posteriormente a través de un atenuador de posición, comandado desde tierra, con pasos de atenuación de 0, 3, 6 y 9 (dB)

Después de que la señal sale del atenuador de posición se enruta a un amplificador de potencia del tipo Tubo de Onda Progresiva (TOP), en inglés TWTA; en este amplificador se aumenta la potencia de la señal.

Para los canales de banda angosta, el nivel de potencia de la salida del TWTA es de 7.0 (watts) promedio y para los de banda ancha de 10.5 (Watts). En los canales de banda angosta (36 MHz) se tienen 14 amplificadores TWTA, siendo dos de ellos redundantes, uno para los canales pares y otro para los impares. Para los canales de banda ancha (72 MHz) se cuenta con 8 TWTA, y también dos de ellos son redundantes, uno para los canales pares y otro para los impares.

El enrutamiento que sigue la señal en banda Ku es similar al de banda C, sólo que a la salida del atenuador la señal se amplifica por medio de un amplificador de manejo que eleva el nivel de la señal a un punto adecuado para excitar el TWTA, el cual entrega un nivel de potencia máximo de 20 (Watts).

En banda Ku se cuenta con 6 TWTA con 6 preamplificadores correspondientes, de los cuales 2 son redundantes.

Los TWTA pueden habilitarse para usarse por medio de conmutadores que están a la entrada y salida de dichos TWTA; estos conmutadores pueden operarse desde el centro de control en tierra, cuando sea necesario.

Los multiplexores de salida combinan los diferentes canales y los enrutan para la transmisión a través de la antena parabólica.

En la tabla 1.1 se indican las principales características del subsistema de comunicaciones.

Las características del subsistema de comunicaciones para el caso de los parámetros básicos tales como relación ganancia a temperatura de ruido

(G/T), para el enlace de ascenso, y potencia isotrópica radiada efectiva (PIRE), para el enlace de descenso, son mostrados en la tabla 1.2.

DESCRIPCION	CARACTERISTICAS	
	Banda C	Banda Ku
Número de Canales	12 de banda angosta 6 de banda ancha	4
Ancho de Banda de los canales (MHz)	36 banda angosta 72 banda ancha	108
Espaciamiento del canal (MHz)	40 banda angosta 80 banda ancha	124
Potencia de salida de los TWT	7.0 banda angosta 10.5 banda ancha	194
Bandas de Frecuencia		
Recepción (GHz)	5.925 a 6.425	14.0 a 14.5
Transmisión (GHz)	3.700 a 4.200	11.7 a 12.2
Antenas		
Recepción	71 pulgadas diámetro del reflector	Arreglo planar
Transmisión	71 pulgadas diámetro del reflector	71 pulgadas diámetro del reflector
Receptor	Totalmente MIC	Totalmente MIC
Control de Ganancia de Canal	0,3,6,9 Db Direccional	0,3,6,9 Db Direccional
Filtros		
Entrada	Coaxial, elíptico	Gufa de onda
Salida	Gufa de onda	Gufa de onda

Tabla 1.1. Características del subsistema de comunicaciones.

PARAMETRO	BANDA C		BANDA KU
	Banda Angosta	Banda Ancha	
G/T			
Ganancia mínima de antena receptora, dB	31.3	29.4	30.5
Temperatura de ruido de antena receptora, K	290.0	290.0	290.0
Figura de ruido del repetidor, dB	27.6	27.6	27.6
G/T, dB/K	3.7	0.6	1.0
PIRE			
Salida de los TWT, dBW	8.7	10.4	12.9
Pérdidas en la salida, dB	1.2	1.1	0.8
Ganancia mínima de la antena transmisora, dB	28.5	29.7	32.2
PIRE, dBW	36.0	39.0	44.3
Densidad de Flujo de Saturación, dBW	-89.5	-85.9	-88.8

tabla 1.2. Parámetros básicos del subsistema de comunicaciones.

ANTENAS DE COMUNICACIONES.

El subsistema de antenas para comunicaciones es, en realidad un arreglo de varias antenas. Se forman 6 diferentes haces de comunicacio-

nes, además de 3 haces para rastreo. El control inicial desde tierra del satélite se obtiene con una antena de tipo omnidireccional, la cual se despliega aproximadamente dos minutos después de que el satélite ha sido separado del vehículo lanzador. A través de ella se reciben y transmiten señales de rastreo, telemetría y comando hasta que el satélite alcanza su posición definitiva. Posteriormente esta antena sólo sirve de respaldo ya que el reflector parabólico se hace cargo de sus funciones. Otra de las antenas que se utilizan es el arreglo planar.

REFLECTOR PARABOLICO.

El corazón del subsistema de antenas es la antena parabólica, compuesta por dos reflectores polarizados ortogonalmente, uno detrás de otro, con distintos puntos focales y con diámetro de 1.8 (m). La antena está orientada nominalmente hacia el centro de México y se localiza en el extremo superior de la plataforma no giratoria.

El reflector dual se ensambla con sus respectivos alimentadores, formando 5 de los 6 haces de comunicaciones. Los 5 haces son para: Transmisión de banda C, polarización vertical y horizontal; recepción de banda C, polarización vertical y horizontal, y transmisión de la banda Ku, polarización horizontal. De esta manera, la antena parabólica se utiliza para la transmisión y recepción de las señales de banda C y para la transmisión de las de banda Ku. Esta antena también se utiliza en los enlaces de radio-frecuencia para el subsistema de telemetría, comando y rango y recibe señales de radiofaro (rastreo) para los subsistemas de control de orientación.

La polarización ortogonal de los reflectores hace posible utilizar la técnica de reuso de frecuencias para la banda C.

De esta suerte las señales de 6 (GHz) se reciben en el reflector parabólico y se convierten a 4 (GHz) en dos de los cuatro receptores redundantes. Las señales de polarización horizontal y vertical son separadas en los alimentadores, para luego ser procesadas por un receptor independiente para cada polarización.

ARREGLO PLANAR

La estructura del arreglo planar es la primera de su clase que se utiliza

en un satélite comercial. Con este arreglo se opera la parte de recepción de señales de banda Ku (14 GHz) para después ser convertidas a 12 GHz en uno de los dos receptores redundantes. La antena plana tiene 32 elementos ranurados idénticos, cuya área es de 85 cm² aproximadamente. Esta antena produce el sexto haz de comunicaciones y está diseñada para operar en un espectro de frecuencias de 14 a 14.5 (GHz).

Este arreglo planar está ubicado directamente enfrente del conjunto de cornetas y por encima del panel solar para evitar obstrucción de la vista hacia México; está protegida del ambiente solar/térmico por el mismo tipo de protector solar que es comúnmente usado en todos los reflectores parabólicos de los satélites de la serie HS-376. Esta antena es una innovación de diseño dentro de la citada serie, y demuestra que es posible formar el haz apropiado a partir de las excitaciones de energía y fase de segmentos.

SUBSISTEMA DE TELEMETRIA, RASTREO Y COMANDO.

Por medio de este subsistema se tiene la capacidad de comando, control y monitoreo del satélite desde tierra.

Este subsistema contiene receptores redundantes de rastreo y comando así como transmisores de telemetría que operan en banda C y que se utilizan tanto en la órbita de transferencia, por medio de la antena omnidireccional, como en la órbita estacionaria, por medio del reflector parabólico; en la figura 1.3. se muestra un diagrama de bloques del subsistema.

TELEMETRIA.

La telemetría abarca el funcionamiento de sensores, estatus e información necesaria para la orientación del satélite. Aporta información por medio de señales en enlace descendente de RF durante la órbita de transferencia, la órbita de deriva y la órbita estacionaria. En la figura 1.4 se muestra un diagrama de bloques de éste concepto.

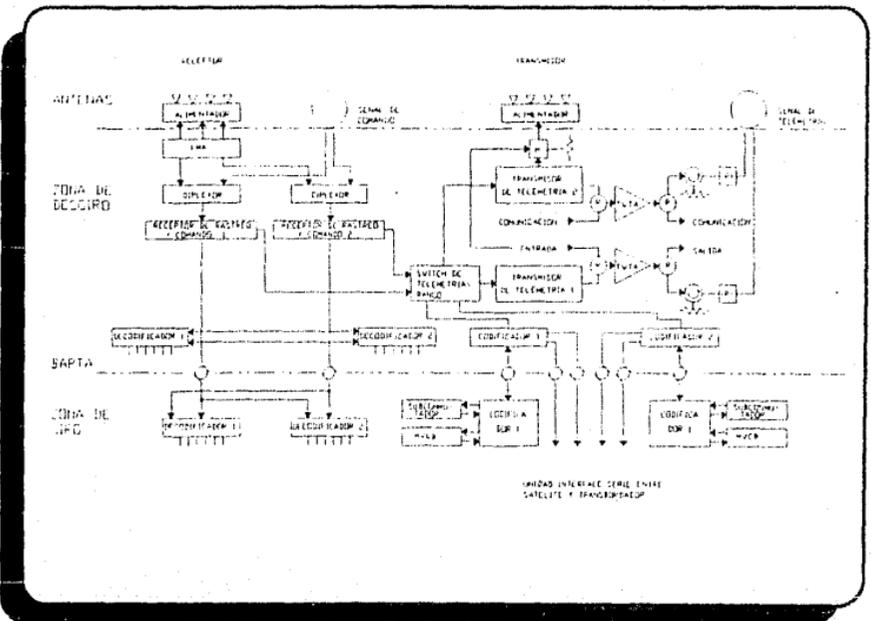
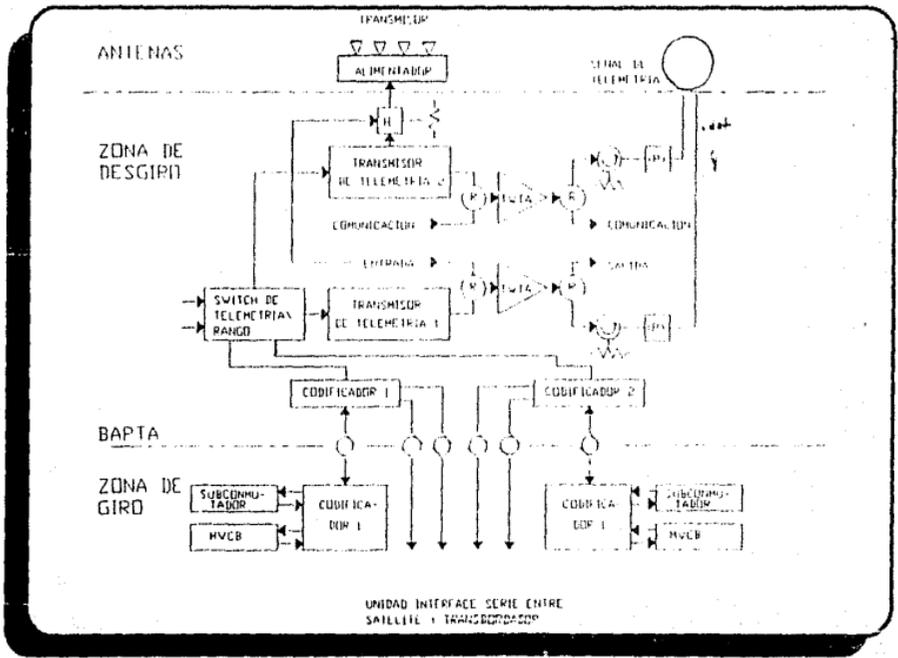


Figura 1.3. Subistema de telecomunicación, rastreo y comando.

Figura 1.4. Esquema de idoneidad



Segmento Espacial

La telemetría aporta tres tipos de datos:

- 1.- Datos modulados en codificación de pulsos.
- 2.- Datos de sensores modulados en frecuencia, tiempo real.
- 3.- Datos del acelerómetro de nutación, tiempo real.

1.- En cuanto a telemetría PCM, (contiene información del subsistema de energía eléctrica, control térmico, control de orientación, control de propulsión, entre otros) son señales que bajan en palabras en código NRZ-M conformando una trama mayor que consta de 32 tramas menores y a su vez cada trama menor consta de 64 palabras.

2.- Los datos de sensores son analógicos, estos detectan, (por medio de procesos infrarrojos) al sol y a ambos hemisferios terrestres; generando un pulso por cada sensor.

Es necesario mencionar que al existir una parte de giro y otra de desgiro, se requiere una interconexión entre ambas partes, misma que es proporcionada por una plataforma que se mueve por un motor de corriente directa (CD), que además de proveer dicha interconexión es ahí donde se generan los pulsos de los sensores antes mencionados, así como el pulso índice maestro (MIP) y que nos da información de la parte de giro con respecto a la parte de desgiro e indirectamente del apuntamiento de la antena de comunicaciones así como de la estabilidad misma del satélite. En la figura 1.5 se muestran los pulsos de los sensores de tierra y el pulso índice maestro.

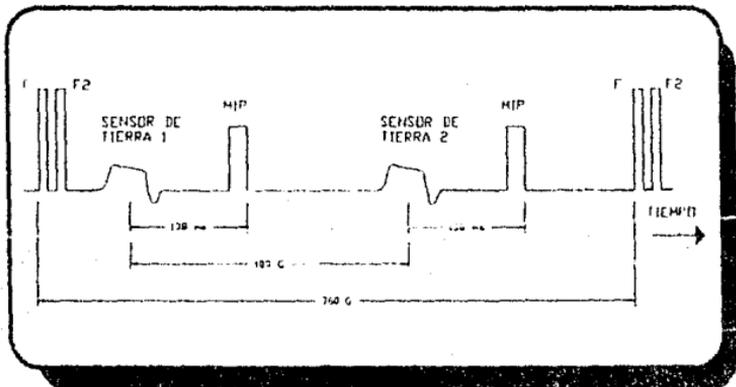


Figura 1.5. Pulsos de los sensores de tierra e índice maestro.

3.- Los datos de FM del acelerómetro de nutación permiten medir la relación giro a inercia transversal, esto es para corregir la estabilidad del satélite en caso de que sea grave, esto se realiza en forma automática dentro del satélite. Estas señales del acelerómetro modulan a una subportadora de 14.5 kHz.

COMANDO

Esta sección consta de dos canales de recepción redundantes, idénticos y que operan simultáneamente, que demodulan y decodifican las señales de comandos, para así proveer la capacidad completa de control sobre todos los estados del satélite y sus modos de operación; en la figura 1.6 se muestra un diagrama de ésta sección.

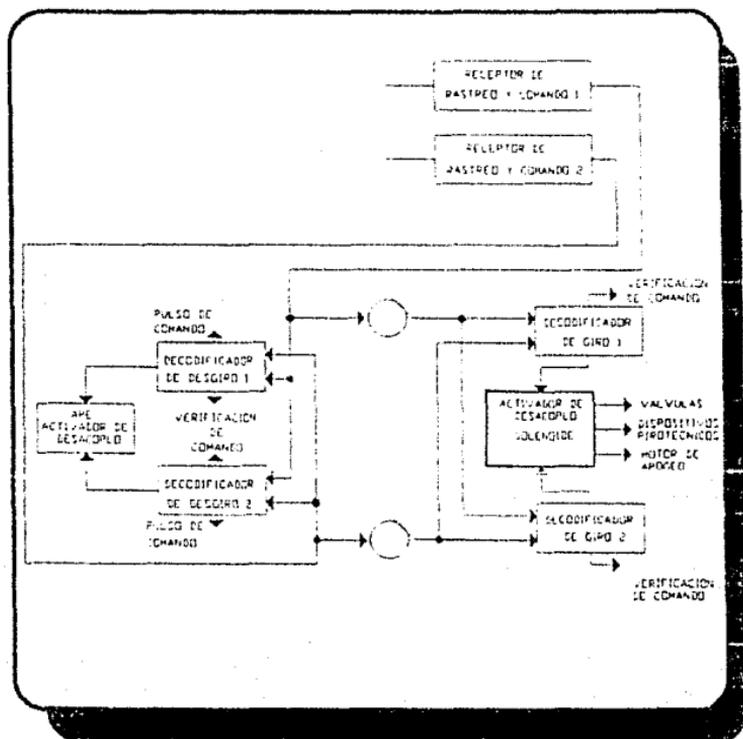


Figura 1.6. Sección de comando.

A la salida del receptor de rastreo y comando (CTR) aparece una señal de banda base que consta de 25 bits, de los cuales 8 son para limpieza de decodificadores, 1 de ejecución, 8 de dirección (sección de giro o desgiro) y 8 del comando, en la figura 1.7 se muestra un esquema de esta señal binaria.

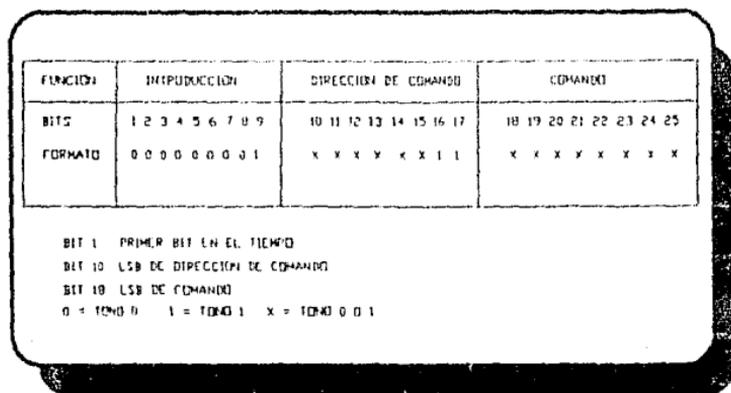


Figura 1.7. Formato del Comando.

El comando está compuesto de señales con frecuencias que representan 1's y 0's en un formato digital RZ y que son utilizadas para direccionar y cargar los comandos específicos al decodificador seleccionado. Una tercera señal se utiliza para la ejecución en tiempo real del comando cargado.

El comando almacenado y su estatus de ejecución son monitoreados para su verificación en tierra. Los decodificadores de comandos son capaces de proveer 255 comandos redundantes para la sección de desgiro y 191 para la sección de giro.

Esta sección, además, está equipada para manejar formatos en banda base para funciones especiales. Estos formatos son: Tono Digital, pseudo-tierra y encendido de-pulsado del propulsor. A continuación se describen estos formatos.

- Tono digital: Está compuesto de señales de 1's y 0's en código RZ y secuencialmente. Este formato se muestra en la figura 1.8.

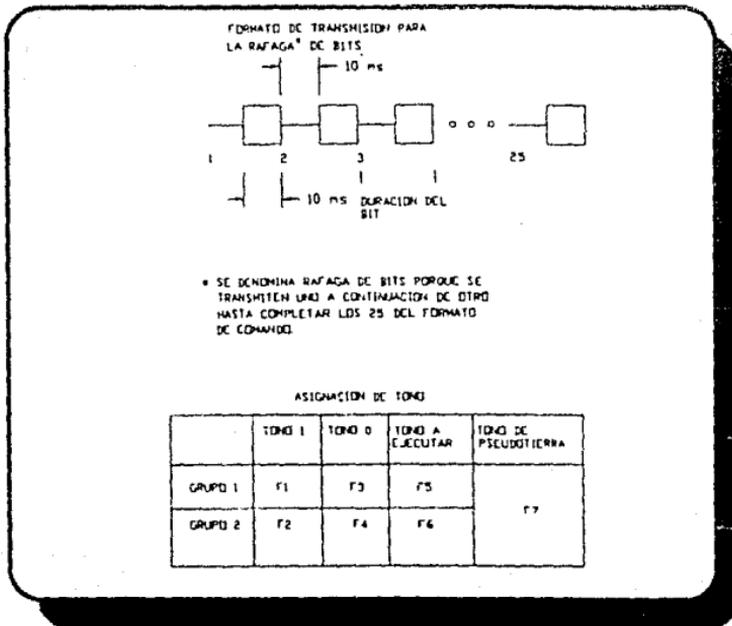


Figura 1.8. Formato del tono digital.

- Pseudo-tierra: En caso de que los sensores de tierra dejen de apuntar hacia ésta, como se explicará en el apartado de orientación, se genera una señal desde tierra, para poder tener un respaldo del control del satélite.

El comando pseudo-tierra se efectúa de la siguiente manera: Cada decodificador de giro contiene un séptimo filtro; los seis provistos para las señales de 1's, 0's y ejecución, sus respectivos respaldos, y el de pseudo-tierra. La generación de los pulsos se realiza desde el centro de control temporizando a un pulso de referencia, usualmente el del sol, recibido en el sensor de telemetría de orientación. El ángulo de inicio oscila entre 0° y 359.9° y la duración del pulso es de 0 a 9,999 ms. En la figura 1.9.a se muestra el formato del comando pseudo-tierra y en la figura 1.9.b se muestra la composición de las señales pseudo-tierra y el patrón de ráfaga de 25 bits para conformar la estructura del comando.

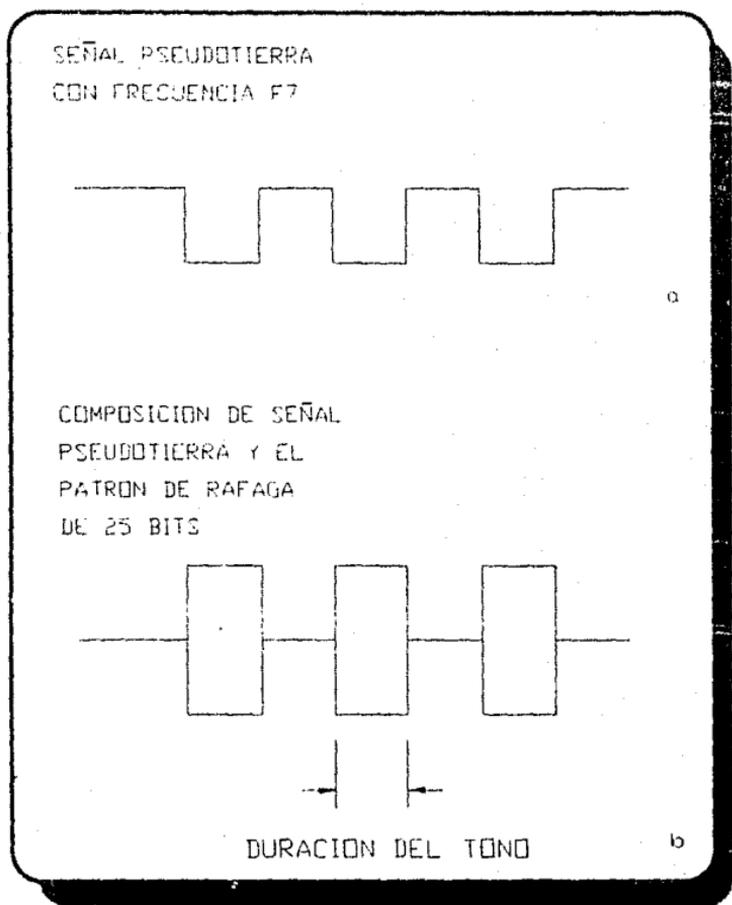


Figura 1.9.a. Formato del comando pseudo-tierra, b composición de las señales pseudo-tierra y el patrón de ráfaga de 25 bits para conformar la estructura del comando.

-Formato de-pulsado para el propulsor axial: Estos comandos se utilizan para corregir, mediante la aplicación de un par, el desplazamiento del centro de gravedad de la plataforma de desgiro en las maniobras de conservación de la órbita estacionaria. En la figura 1.10 se muestra este formato.

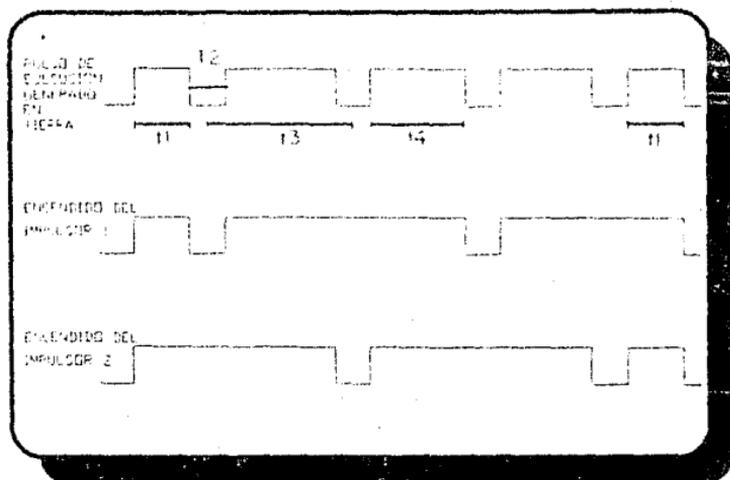


Figura 1.10. Formato de pulso para el propulsor axial.

Como se observa en el diagrama de bloques de la figura 1.6, el equipo utilizado es, principalmente: Los receptores de rastreo y comando y los decodificadores de comando; a continuación se hace una breve descripción.

Receptor de rastreo y comando: Estos receptores proveen la detección de las señales de error, norte-sur y este oeste, para el apuntamiento de la antena y detección de frecuencias para el subsistema de comando.

Decodificadores de comando: El satélite, para simplificar la recepción y decodificación de comandos, está configurado con decodificadores en la parte de giro y de desgiro, los cuales tienen pequeñas diferencias entre sí.

Los decodificadores de giro contienen un demodulador para detectar 1's, 0's y tonos de ejecución para cualquiera de los dos receptores de rastreo y comando. Cada demodulador contiene dos grupos de filtros de tres tonos y cada grupo es sintonizado para recibir tonos de frecuencias que representan 1's y 0's y pulsos de ejecución. Las frecuencias de los tonos en cada grupo son diferentes. Los filtros son suficientemente selectivos (300 Hz) para prevenir falsos tonos de ejecución debidos al ruido y a interferencias de otros satélites.

Los alimentadores están diseñados para proveer diferentes señales con características apropiadas para rastreo de la antena en acimut y elevación. Los voltajes a la salida de los alimentadores son voltajes de error proporcionales a la variación de apuntamiento de la antena.

Una suma de voltajes de salida también es generada por los alimentadores, esta suma es enrutada al ensamble modulador de ferrita (FMA). Las señales de error en acimut y elevación también son enrutadas al FMA. El FMA consiste de dos moduladores y divisores distintos y redes de combinación. Estos moduladores sirven para superponer la señal de error en la señal de suma, creando una señal modulada en amplitud. Esta señal de error es detectada por los receptores de rastreo y comando. Las señales que salen del receptor son procesadas en el APE y posteriormente mandadas al ACE, el cual controla el movimiento norte-sur y este-oeste de la antena.

SUBSISTEMA DE CONTROL DE ORIENTACION

Por medio del subsistema de control de orientación se puede tener el control de velocidad, control y estabilización de los ejes de giro y el control del apuntamiento de la antena.

Las maniobras de velocidad de giro y orientación del satélite son ejecutadas desde tierra por medio de comandos basados en el procesamiento de datos de telemetría.

Durante las órbitas de transferencias y deriva, la información necesaria para determinar la orientación del satélite, desde tierra, la proporcionan los sensores de tierra y de sol.

En la órbita estacionaria se obtienen para mayor precisión, de la historia del movimiento de rastreo de radio faro norte-sur de la antena.

La estabilización es proporcionada en forma automática cuando los ejes de giro no son pasivamente estables. Un impulsor gobernado mediante el sistema de control activo de nutación (ANC) asegura rápidamente un ángulo grande de amortiguamiento de la nutación, en cualquier instante de tiempo. Después de que la antena es desplegada, el dispositivo electrónico de amortiguamiento activo de nutación (DANDE) hace que la nutación se haga asintóticamente cero.

La adquisición de la señal de amarre es realizada primeramente por el

desgiro de la antena y posicionando ésta en la señal de amarre, esto implica que la velocidad de giro sea la misma e implica la presencia de una malla de control de apuntamiento por los sensores de tierra.

En el diagrama de bloques de la figura 1.12 se muestran los sensores del subsistema, la electrónica de control y los actuadores.

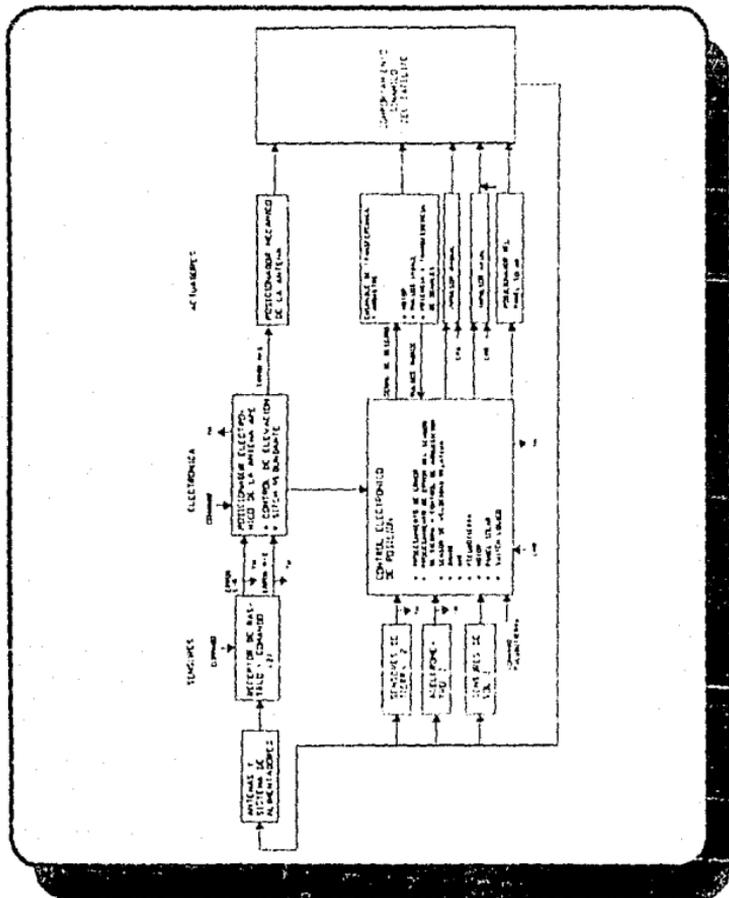


Figura 1.12. Diagrama del subsistema de control de orientación.

Para precisión del modo apuntamiento, los errores norte-sur, esteoeste son sensados por el receptor de rastreo y comando.

El error norte-sur es procesado en el posicionador electrónico de la antena (APE) el cual envía comandos al mecanismo de posición de antena. El error este-oeste es transmitido al control electrónico de posición (ACE), localizado en el rotor, y procesado como un comando de torque en el motor de desgiro.

La salida de los sensores de tierra es por medio de pulsos, que son monitoreados desde tierra y transmitidos por el control electrónico de posición, donde el tiempo (fase) es comparado con el pulso índice proporcionado por las mediciones del error de apuntamiento este-oeste. Los sensores de sol proveen mediciones adicionales de orientación en la órbita de transferencia y deriva. En la figura 1.13 se muestra un diagrama de los sensores de tierra y de sol, así como el área que cubren.

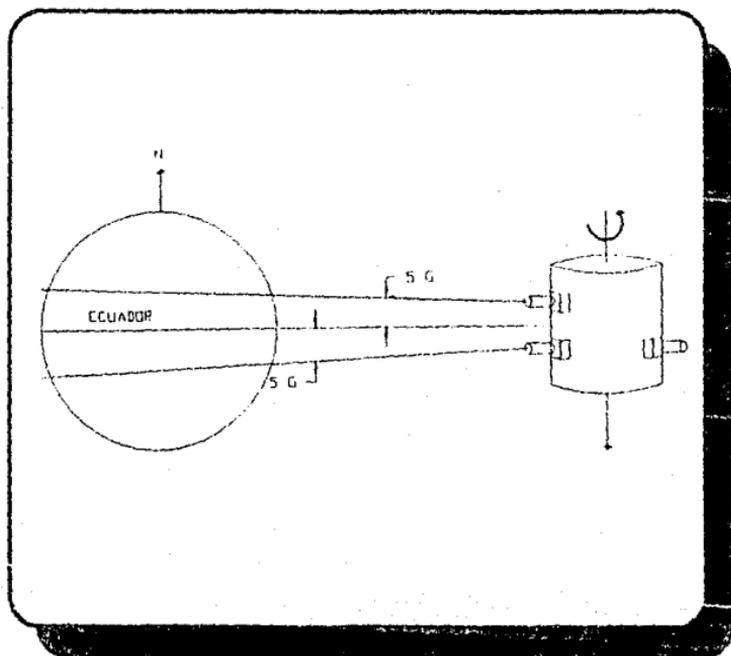


Figura 1.13. Diagrama de los sensores de tierra y de sol.

La circuitería del ANC como lo son filtros y detectores de umbral captan la aceleración debida a nutación y comandan a los propulsores radiales y/o axiales (con el adecuado defasamiento de los pulsos de comando) para desplazar su centro de gravedad y así corregir el momentum transversal. El DANDE además de filtrar las señales del acelerómetro las procesa y la aplica continuamente al motor de desgiro. Al moverse más rápido la sección de giro que la de desgiro la antena se desplaza en el sentido en que lo hace la sección de giro, lo que requerirá que el motor de desgiro debe aumentar su velocidad para así crear el efecto de mantener estacionaria la sección de desgiro y viceversa.

MODOS DE OPERACION

El subsistema de control de orientación tiene dos modos de control de estabilización seleccionables desde tierra: El ANC y el DANDE. Y tiene cuatro modos de control de antena: Velocidad, tierra, pseudo-tierra y rastreo de señales de amarre.

Cada modo se describirá brevemente.

1.- Modo ANC. La nutación es sensada por un acelerómetro y detector de umbral para generar los pulsos de encendido del propulsor.

Este modo se utiliza sólo en caso de que se tenga una inestabilidad muy grande, ya que el utilizarlo implica el encendido de propulsores y gasto de combustible, lo cual reduce considerablemente la vida del satélite. Este modo se efectúa en forma automática.

2.- Modo DANDE. El DANDE sensa la señal de nutación por medio de los acelerómetros y proporciona el control mediante comandos que producen un par en el motor de desgiro. Este modo solo opera cuando la antena parabólica es desplegada. Consiste en el desplazamiento de la antena hacia el norte o hacia el sur, para originar un desplazamiento del centro de gravedad y así poder controlar la estabilidad del satélite.

3.- Modo velocidad. En el modo velocidad el pulso índice es usado para sensar la velocidad relativa de giro, entre la parte de giro y desgiro del satélite.

4.- Modo tierra.- Este apuntamiento es llevado a cabo mediante el uso de los lazos de control tanto de posición como de sensado de velocidad.

5.- Modo pseudo-tierra. Este modo de operación es similar al modo tierra, excepto que los pulsos del sensor de tierra son simulados desde la estación de control, este caso se presenta en condiciones de inestabilidad completa, por lo que los sensores de tierra dejan de proporcionar la información requerida para el control del satélite.

6.- Modo de señal de amarre.- En este modo los apuntamientos de la antena son controlados por el APE y el ACE respectivamente. Cualquier combinación de APE, ACE y receptor de rastreo es seleccionable desde tierra. Si la señal de amarre está ausente en el receptor de rastreo o si el MIP no se detecta, el ACE cambia automáticamente al modo tierra y deshabilita el control de pasos norte-sur del APE. Esta manera de detección puede alterar su configuración vía comandos.

SUBSISTEMA DE PROPULSION.

El subsistema de control de reacción realiza maniobras de corrección de orientación y velocidad del satélite en respuesta a los comandos enviados desde tierra.

Cuando se envía un comando, la válvula del propulsor se abre y el combustible (hidracina) es mandado con cierta presión al propulsor, donde reacciona catalíticamente para producir el empuje.

El empuje se obtiene mediante dos propulsores radiales y dos axiales. En la figura 1.14 se muestra la posición y orientación de cada propulsor.

El subsistema está equipado con 5 sensores de temperatura, uno en cada propulsor y uno en un tanque de combustible. Dos transductores de presión estiman el estado del subsistema y diagnostican fugas, contaminación o alguna operación anormal.

En la figura 1.15 se muestra un diagrama de bloques del subsistema.

Como se observa en la figura existe una válvula de cierre en los tanques de combustible así como una por cada impulsor radial y axial.

Las válvulas de cierre de los conductores de alimentación son cerradas solamente si una válvula de algún propulsor falla o si existe alguna fuga de combustible detectada por los transductores de presión.

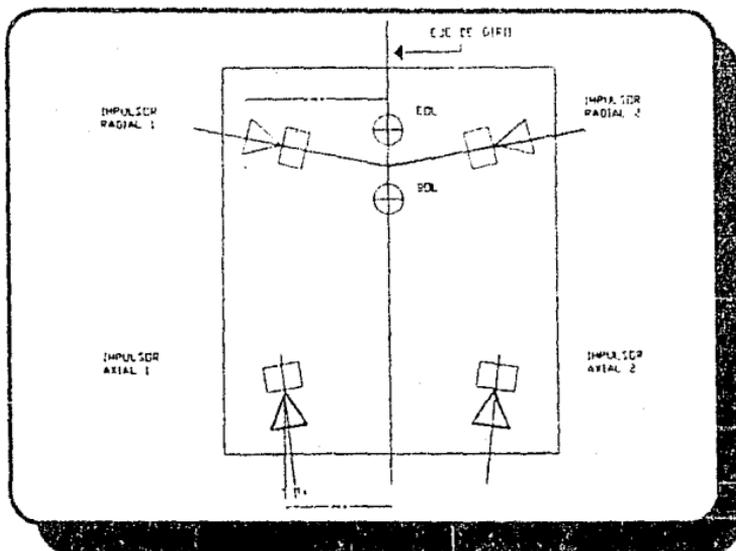


Figura 1.14. Diagrama de posición de los propulsores.

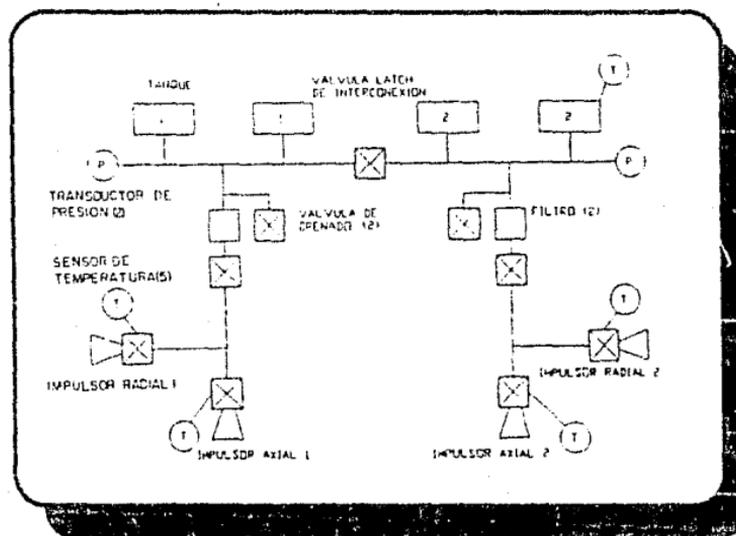


Figura 1.15. Diagrama del subsistema de propulsión.

SUBSISTEMA DE POTENCIA ELECTRICA

Mediante éste, se provee la potencia necesaria para que operen las dos barras alimentadoras de la circuitería asociada aisladas e independientes que están a bordo del satélite. Para ello, cuenta con paneles que contienen un conjunto de celdas solares montadas sobre arreglos cilíndricos (mismos que operan cuando el satélite está expuesto a la luz solar); por otra parte, cuenta con baterías para alimentar cargas esenciales y de comunicaciones cuando el satélite no está expuesto a la luz solar (lo cual ocurre en eclipses e interferencias).

De lo anterior, se desprende que hay dos modos de operación del subsistema: exposición a la luz solar y eclipses.

Cabe mencionar que los eclipses se presentan en dos temporadas al año, cada una de ellas incluye de 22 a 23 eclipses (uno diario) antes del equinoccio de la temporada en cuestión y de 22 a 23 eclipses después de cada equinoccio.

En seguida se describen los elementos funcionales más importantes del subsistema.

a) Panel solar delantero: Está constituido por arreglos de celdillas que conforman una envolvente cilíndrica sobre el cuerpo del satélite y se encuentra dividido por el radiador anular explicado en el subsistema térmico. De este panel se obtiene nominalmente el 48% de la potencia disponible total.

b) Panel solar posterior: Se encuentra extendido (una vez que el satélite está en su posición operativa de órbita geostacionaria) a continuación del panel delantero, consecuentemente también forma una envolvente cilíndrica sobre el cuerpo del satélite, de este arreglo de celdillas se obtiene nominalmente el 52% de la potencia disponible total del subsistema.

Entre los materiales más importantes con que están hechos los paneles encontramos: Sílice, Kevlar, Pentóxido de Tantalio, Aluminio laminado, Cristales epóxicos, aleaciones de Plata-Paladio-Titanio, etc. En la figura 1.16 se muestra este subsistema.

c) Baterías: El satélite cuenta con dos baterías que contienen cada una 32 celdas para conformar una capacidad total para cada batería de 24.5 A-Hr, nominalmente. El caso de las baterías está hecho de acero inoxidable, en

tanto que el electrodo positivo es a base de Hidróxido de Níquel con un sellado cerámico para aislarlo del casco; por su parte el electrodo negativo consta de placas de Cadmio con Teflón, especificando que el electrodo negativo no está aislado del casco. En lo que respecta al electrolito empleado para activar las baterías, se trata de Hidróxido de Potasio en una solución concentrada al 31%.

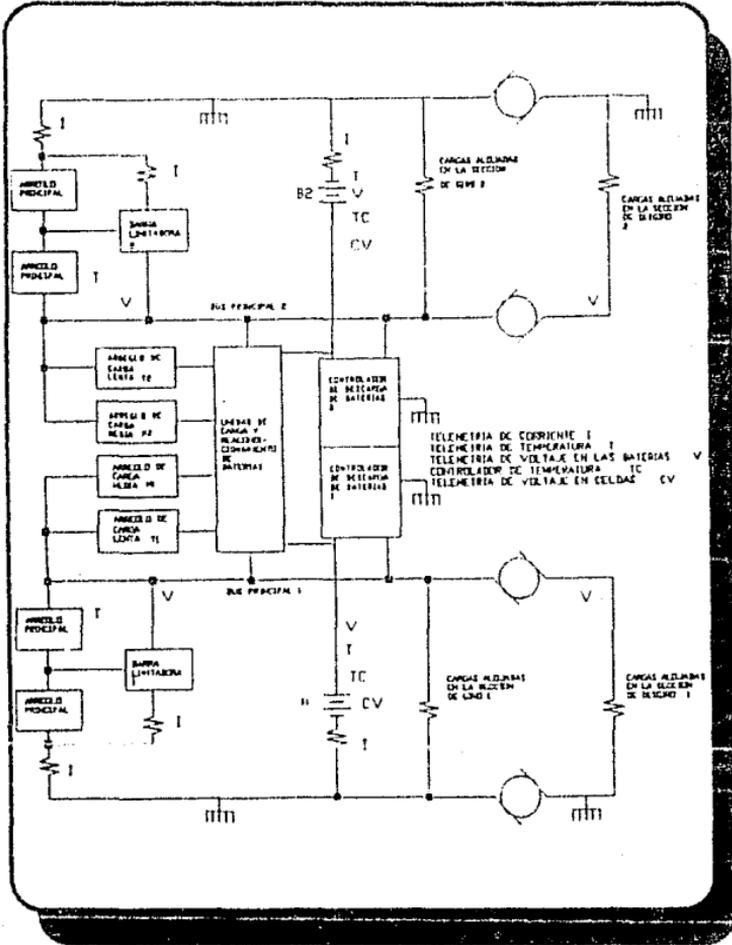


Figura 1.16 Diagrama del subsistema de Energía Eléctrica.

El voltaje nominal de cada batería es 30 V, sin embargo, éste puede incrementarse y/o decrementarse dependiendo de la potencia demandada por las cargas, así como la condición operativa en que se esté, es decir, exposición a la luz solar ó eclipse. Es preciso indicar que las baterías requieren reacondicionarse antes de cada temporada de eclipses y durante éstas para que así se les tenga en condiciones óptimas de funcionamiento; para ello, se les somete a descargas rápidas y lentas así como a cargas rápidas y lentas.

Finalmente se mencionan otros elementos de importancia para el funcionamiento de este subsistema: limitadores de corriente para las barras alimentadoras, monitores del voltaje de las celdas de las baterías, controladores de descarga y calentadores así como también los diversos sensores asociados de voltaje, corriente y temperatura.

SUBSISTEMA DE CONTROL TERMICO

El control pasivo de temperatura es llevado a cabo a través de materiales dispuestos en el satélite. El uso de materiales limitadores evita las variaciones de disipación térmica durante la vida del satélite por iluminación solar.

El panel solar delantero tiene una banda de 20 pulgadas de radiador térmico muy cerca de la mitad del cilindro. El panel solar delantero del cilindro es de aluminio. Un sustrato de baja conductancia térmica (Kevlar) es usado para soportar las celdas solares mientras que fases conductoras térmicas de grafito son usadas para el espejo de cuarzo radiador. Con una baja absorción solar para emitancia hemisférica radial, el radiador provee un eficiente desprendimiento de calor radial. La baja conductancia del sustrato Kevlar minimiza la conducción de calor del área de celdas solares hacia el radiador.

La cubierta múltiple de aislamiento sobre el equipo delantero protege eliminando las zonas calientes, y minimiza en las zonas oscuras la reflexión de la energía solar en las partes más bajas del reflector. La parte externa del frente está girando, y para reciclar calor emplea características de baja emitancia radial. Esta porción giratoria es usada como un radiador en órbita, y es de vital importancia en la órbita de transferencia cuando los rayos solares alcanzan el alojamiento del radiador.

El desprendimiento de calor que proviene de los anaqueles

electrónicos hacia las barreras radiactivas y paneles solares es maximizada por el uso de superficies de alta emitancia. Un área de baja emitancia en la porción delantera reduce el descenso drástico de la temperatura en un eclipse. El satélite es sellado por una barrera de Titanio 2000 para protegerlo del motor de apogeo, además, tal barrera es metalizada en su interior para minimizar el efecto de encendido.

Un estuche de Kapton, aislador de calor, encapsula el propulsor y clausura la boquilla manteniendo aceptable la temperatura del propulsor del motor de apogeo durante la órbita de transferencia. La cubierta de aislamiento del estuche también protege al satélite del calor producido por el motor de apogeo.

El control térmico del subsistema de propulsión es activado por superficies terminadas apropiadamente, conductores solares y radiadores. Los cuatro tanques propulsores están cubiertos por una capa múltiple de aislamiento, mientras que las válvulas impulsoras son cubiertas con acabados de baja emitancia. Los impulsores están rodeados de acero inoxidable para proteger la estructura adyacente al satélite durante el lanzamiento.

Los radiadores son usados para aumentar el control pasivo de temperatura y diseñados para controlar los rangos de temperatura en las baterías, propulsores, válvulas y el motor de apogeo. Los radiadores de las baterías son usados para mantener temperaturas por encima de 5 °C durante las estaciones de eclipse. Cada batería tiene un sensor de temperatura en dos o cuatro paquetes que operan los controladores redundantes.

En el subsistema de antenas, el reflector se protege del sol mediante una cubierta de Kapton y una cubierta de Germanio es adicionada para poder aumentar la reflexión solar.

**INFLUENCIA DEL MEDIO
AMBIENTE EN LOS
ENLACES VIA SATELITE,
ECUACIONES DE CALCULO
Y SOLUCION POR
COMPUTADORA**

INTRODUCCION

En este capítulo se abordan los aspectos más relevantes en relación al cálculo de enlaces. De esta manera, se trata el ruido por ser un parámetro inevitable ya que las características de la propagación dependen invariablemente de las condiciones climatológicas, así como de la naturaleza del equipo utilizado.

Posteriormente se analizan los efectos de atenuación por hidrometeoros como son la lluvia, los cristales de hielo, etc.

Por otra parte se aborda el tema referente al control de potencia automático, el cual es una técnica que aun esta en proceso de experimentación y no es utilizada en los satélites Morelos, pero se considera un factor relevante en los futuros enlaces vía satélite.

Asimismo se incluye un apartado referente al "back-off" por ser éste un aspecto fundamental en el comportamiento de los transpondedores para con las portadoras que se transmitan.

En otro orden de ideas se realiza la deducción de las ecuaciones más notables para el cálculo de enlaces como son: relación portadora-ruido ascendente, relación portadora-ruido descendente, relación portadora-ruido de intermodulación y relación portadora ruido total. Más adelante se aporta un diagrama de flujo y un programa mediante el cual es posible estimar algún enlace de interés de acuerdo a las ecuaciones indicadas líneas arriba.

Finalmente se presenta un ejemplo de cálculo de enlaces utilizando los aspectos expuestos a lo largo del presente capítulo ya que tal programa será el soporte del capítulo V.

RUIDO

Para que una transmisión se pudiera realizar en forma perfecta, habría que considerar que la señal recibida fuera idéntica a la señal transmitida, y que no mostrara ningún tipo de perturbación debido a otras señales parásitas. En la práctica esta condición ideal no existe y es necesario evaluar la potencia de ruido adicional en el enlace, para compararla con la potencia de la señal portadora de información y obtener la relación portadora a ruido (C/N), la cual resulta ser un indicador de la calidad del enlace.

Se sabe que la generación de ruido se inicia desde la misma fuente que proporciona las señales y en los equipos de telecomunicaciones por los cuales transita la señal. Estos se encargan de agregarle una cantidad adicional de ruido, denominado ruido interno, mientras que al ruido captado por las antenas de la estación terrena y del satélite se le conoce como ruido externo.

Ruido Interno.

Este tipo de ruido se puede dividir a su vez en ruido térmico y en cualquier otro tipo de ruido en los circuitos, tal como ruido de disparo, ruido de corriente en los semiconductores, etc.

El ruido térmico es aquel que se produce en el equipo electrónico debido al movimiento aleatorio de los electrones.

La potencia de ruido usualmente se cuantifica en términos de su temperatura de ruido.

La potencia del ruido térmico que afecta un rango dado de frecuencia es proporcional a la temperatura absoluta y al ancho de banda de frecuencias en cuestión, es decir:

$$N = KT_p B \quad (2.1)$$

- Donde:
- N - Potencia del ruido.
 - K - Constante de Boltzman.
 - $K = 1.38 \times 10^{-23}$ Watts-°K.
 - T_p - temperatura en Kelvin.
 - B - Ancho de banda en Hertz.

La temperatura de ruido de una fuente de ruido es la temperatura que produce la misma potencia de ruido sobre el mismo rango de frecuencias.

Así, si una fuente de ruido crea ruido de potencia N , su temperatura de ruido, algunas veces llamada temperatura de ruido equivalente es:

$$T_r = N/KB \text{ (K)} \quad (2.2)$$

La temperatura de ruido (T_r) del equipo receptor es originado tanto por la estructura de la antena como por la electrónica asociada.

El ruido debido a la circuitería propia del sistema proviene de aquellos aparatos capaces de generar un espectro continuo de energía electromagnética. La mayoría de estas fuentes de ruido caen en alguna de las siguientes categorías:

- Cargas pasivas en guías de onda o cables coaxiales enfriados hasta el punto de ebullición de algún gas específico licuado, por ejemplo: Helio, Nitrógeno o Freón.
- Cargas pasivas calentadas a una temperatura superior a la ambiental, controlada con exactitud.
- Fuentes de ruido obtenidas por medio de una descarga eléctrica dentro de gases rarificados, por ejemplo: Argón, Neón, Xenón.
- Fuentes de ruido de estado sólido.
- Antenas receptoras. Una antena es una fuente de ruido en la cual la potencia de ruido deriva, en su mayor parte, del flujo de ruido incidente.

Temperatura global de ruido en la entrada de un receptor.

Considérese un sistema típico de recepción de una estación terrena en donde se tiene un equipo receptor, con una temperatura equivalente de ruido T_r , conectado a una antena que presenta una temperatura de antena, T_a , mediante una línea de transmisión cuya atenuación es L y su temperatura real T_l ; en este caso, la temperatura global de ruido (T) registrada en la entrada del receptor está dada por la siguiente expresión:

$$T = \frac{T_a}{L} + \frac{L-1}{L} T_l + T_r \text{ (K)}$$

Cuando se trata de estaciones terrenas con bajos niveles de temperatura de ruido (varias decenas de grados Kelvin), hay que resaltar la importancia de la calidad que une la línea con el receptor, ya que cada décima de decibel de pérdida representa no solamente una atenuación sobre la señal, sino, además, un aumento de 7 K en la temperatura de ruido global del sistema.

Figura de Mérito.

Debido a que la señal recibida es muy débil, tanto en el satélite como en la estación terrena, es importante que la antena receptora y la parte electrónica introduzcan tan poco ruido como sea posible. Para evitar pérdidas y ruido en las líneas que conectan la antena receptora a la electrónica, la antena tiene usualmente un preamplificador. La eficiencia de tal combinación usualmente se cuantifica como la relación de la ganancia a la temperatura de ruido y se llama figura de Mérito.

$$\text{Figura de Mérito} = \frac{G}{T}$$

donde: G - Ganancia de la antena.

T - Temperatura de ruido en el sistema receptor.

Esta Figura de Mérito se asocia con la relación señal a ruido resultante y, por consiguiente, indica la capacidad relativa del subsistema receptor para recibir una señal.

Ruido Externo.

Este tipo de ruido se debe en gran parte a la radiación térmica proveniente de la atmósfera y de la tierra, y además a fuentes cuyo origen es extraterrestre. Por lo tanto son fuentes externas de ruido: el sol, la luna, la tierra, ruido galáctico, ruido cósmico, ruido del cielo, ruido atmosférico y ruido hecho por el hombre; estas fuentes difieren en su intensidad, frecuencia y localización en el espacio.

Si la antena de un satélite apunta hacia el sol, la señal será prácticamente contaminada debido a la temperatura de ruido del sol que es de 1,000,000 K

o más; sin embargo, en las telecomunicaciones mediante satélites geostacionarios es raro que se presente una conjunción entre el satélite y el sol.

La temperatura de ruido de la tierra, vista desde el espacio es, en promedio, de 254 K. Debido a las variaciones del terreno, haces dirigidos a alguna porción de la tierra reciben una temperatura de ruido ligeramente mayor a 254 K.

El ruido galáctico se refiere al ruido de las estrellas en la galaxia. Este ruido decrece rápidamente a altas frecuencias y tiene efectos despreciables arriba de 1 GHz.

Si se considera el rango de frecuencias comprendido entre 1 y 10 GHz, para ángulos de elevación superiores a cinco grados, la temperatura global del ruido del cielo es inferior a 20 K, siendo esto particularmente cierto en las inmediaciones de la frecuencia de 4 GHz. Las cuales corresponden a las frecuencias más empleadas en las telecomunicaciones espaciales comerciales.

El ruido cósmico se refiere a otro ruido del espacio exterior y también es despreciable arriba de 1 GHz.

El ruido atmosférico se origina principalmente en las moléculas de Oxígeno y vapor de agua, las cuales absorben la radiación. Consecuentemente las frecuencias en las cuales la absorción atmosférica es alta son las mismas en las que el ruido atmosférico es alto.

Ruido de Intermodulación.

El ruido de intermodulación (IN) es el resultado de la presencia de armónicas que se generan cuando 2 o más señales con frecuencias diferentes son transportadas a través de un dispositivo o medio no lineal.

Estas armónicas pueden estar presentes dentro del ancho de banda de interés o en mayores anchos de banda del dispositivo. En la figura 2.1 se muestran los productos de intermodulación en un dispositivo no lineal como lo es el TWT.

El nivel de ruido de intermodulación depende de la potencia de la señal, del grado de no linealidad y del número de portadoras.

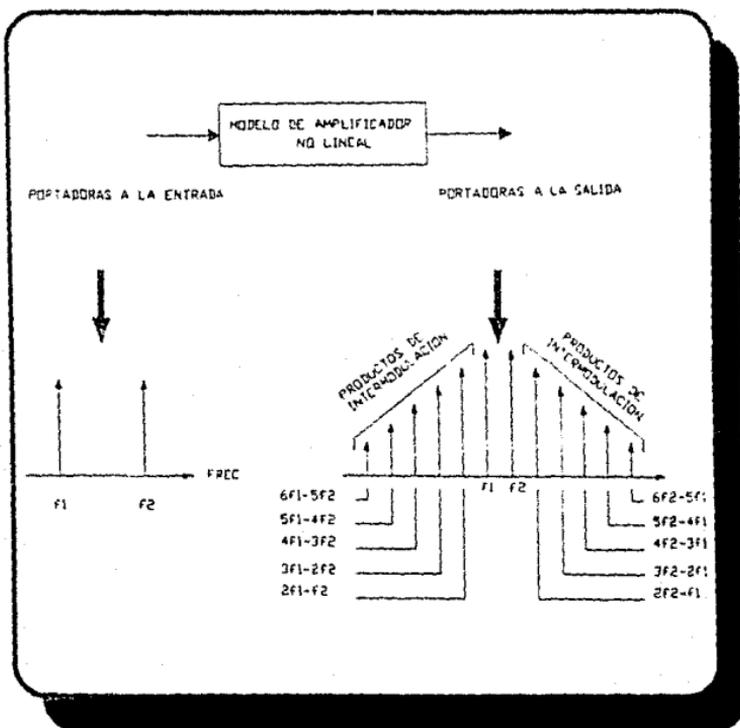


Figura 21 Generación de productos de intermodulación en un dispositivo no lineal (TWT del transpondedor del satélite).

Densidad de Ruido.

El término densidad de ruido se refiere al ruido por hertz de ancho de banda:

$$\text{Densidad de ruido} = \frac{P_n}{B} = KT$$

Relación Portadora a Ruido.

Una relación frecuentemente usada para establecer la calidad de un enlace vía satélite es:

$$\frac{\text{Potencia de la portadora recibida}}{\text{Densidad de ruido}} = \frac{P_r}{KT} = \frac{C}{N_o}$$

EFFECTOS DE ATENUACION

EFFECTOS POR HIDROMETEOROS

En las telecomunicaciones vía satélite, el grado de confiabilidad en los enlaces se ve afectado primordialmente por las condiciones meteorológicas y climatológicas en períodos de tiempo mayor. Por esto es necesario contar con un método de predicción para determinar la confiabilidad en los enlaces, así como el margen de operación de un sistema como un todo, por lo que el diseño para un medio adverso es primordial.

La atenuación es el resultado de la dispersión y/o absorción de energía por hidrometeoros, dependiendo del estado físico de ellos, número, tamaño, distribución de orientación, propiedades dieléctricas, y distribución espacial.

Atenuación de las Ondas.

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

Componentes Gaseosas en la Atmósfera.

En la tropósfera la absorción debida a los gases es el resultado de las resonancias moleculares del Oxígeno y del vapor de agua (el Nitrógeno no interviene en la gama de frecuencias radioeléctricas). El Oxígeno tiene dos bandas principales de absorción en la gama de las ondas milimétricas, las cuales se sitúan cercanas a los 60 y 108.75 GHz.

El vapor de agua igualmente tiene dos bandas de absorción, una situada en los 22.2 GHz y la segunda en los 183 GHz. En la primera se produce una atenuación de 0.02 dB/km, mientras que en la segunda será de 4 dB/km. La figura 2.2 indica las atenuaciones provocadas por la absorción en un enlace satélite-tierra, considerando una atmósfera moderadamente húmeda (7.5 gramos de agua por m³).

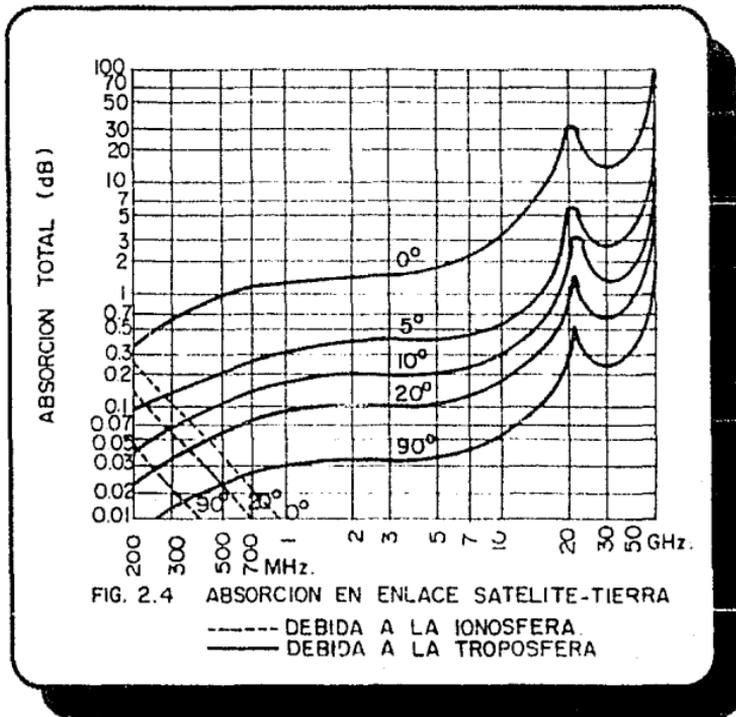


Figura 2.2 Absorción en un enlace satélite tierra.

Márgenes de Atenuación por Precipitación.

La correlación estadística de los eventos meteorológicos en períodos más largos, nos definen el clima específico sobre varias zonas geográficas. Estos eventos meteorológicos pueden ser analizados uno a uno o en conjunto, pudiendo así determinar las variables que originan la degradación de la señal que se propaga en la atmósfera.

La clasificación general de lluvia que normalmente se usa es:

- Geográfica
- Conveccional
- Ciclónica

Estas categorías no significan que sean exclusivas una de la otra. Las gotas de agua y los cristales de hielo (conocidos también como hidrometeoros) que se encuentran presentes en estos sistemas pueden moverse a través de la trayectoria de enlace, provocando dispersión de la señal y causando tanto un cambio relativo en el nivel de la señal como un retraso relativo. La predicción de la atenuación que excede en un intervalo de tiempo es importante para el diseño del sistema. Este parámetro depende del estado físico de los hidrometeoros, del número, tamaño, de su distribución de orientación, propiedades dieléctricas y de su distribución espacial.

El medio atmosférico es un lugar donde se llevan a cabo fenómenos físicos, donde variables tales como temperatura, presión, altitud, concentración de humedad, energía interna, entalpía y entropía, conforman el medio, y los eventos son el resultado de la dinámica terrestre. Es por tanto que la determinación de la ocurrencia probabilística y las características de los hidrometeoros son influidos por todas las variables mencionadas. En el estudio estadístico de los eventos meteorológicos se deben considerar dichas variables para poder conformar, posteriormente, un modelo específico.

La evaluación de atenuación por lluvia para el diseño de enlaces vía satélite, requiere del conocimiento de las estadísticas de atenuación para cada estación terrena a una frecuencia específica de operación. De esta manera, se hace necesaria la aplicación de un modelo de predicción a fin de poder determinar los márgenes de atenuación por precipitación.

Efectos de atenuación

Se han llevado a cabo esfuerzos a nivel internacional con el propósito de desarrollar técnicas confiables para la predicción de atenuación por precipitación en algún lugar determinado y con una frecuencia dada. En la actualidad existen varios modelos predictivos, a continuación se mencionan los más confiables:

- Modelo de Rice-Homberg
- Modelo de Dutton-Daugherty
- Modelo de S.H. Lin (Empírico)
- Modelo Global de R.K. Crane

En el modelo de Lin (empírico), el grupo de fórmulas empíricas para la atenuación de la trayectoria tierra-espacio son una extensión de las usadas para radio trayectorias terrestres por microondas. En el caso de las trayectorias terrestres, el cálculo de la distribución de la atenuación por lluvia esperada de una distribución de período grande (20 años) de intensidad de lluvia, en un punto, de 5 minutos se ha realizado usando fórmulas empíricas deducidas de los datos medidos disponibles de la atenuación por lluvia y de la intensidad de lluvia en 9 radio trayectorias de 11 GHz (5-43 Km).

Estas fórmulas empíricas para trayectorias terrestres, son:

$$a(R) = a_p R \quad (\text{dB/km}) \quad (2.4)$$

$$B(R,L) = (R) L [1 + 1/L(R)]^{0.7} \quad (\text{dB}) \quad (2.5)$$

Por lo tanto:

$$I(R) = \frac{2636}{R - 6.2} \quad (\text{km}) \quad (2.6)$$

Donde:

R - Intensidad de lluvia puntual de 5 min. (mm/h)

L - Longitud de la radiotrayectoria (km)

B(R,L) - Atenuación por lluvia de la trayectoria (dB), en el mismo nivel de probabilidad como el de R.

a,b - Son funciones de la radiofrecuencia; estrictamente hablando, los parámetros a y b son también funciones de la polarización de la onda.

Dos factores en el modelo empírico explican el efecto del promedio de la radiotrayectoria. Primero, el modelo está basado en la distribución de período grande de intensidades de lluvia puntuales de cinco minutos, en los cuales se explica el hecho de que la radiotrayectoria realiza un promedio espacial de intensidades de lluvia no uniforme. Un promedio de 5 minutos de la intensidad de lluvia vista en un punto corresponde a un promedio espacial de casi 2.1 km de intensidades de lluvia verticalmente variables, considerando una velocidad de descenso promedio de 7 m/s de las gotas de lluvia.

Sin embargo, puesto que la mayoría de las radiotrayectorias de interés son más que 2.1 Km, el intervalo promedio estable de 5 minutos no puede explicar todas las variaciones de longitud de la trayectoria.

En otras palabras, el factor no-lineal representa la relación empírica entre la intensidad de lluvia puntual de 5 minutos R y la intensidad de lluvia promedio de la radio trayectoria $R_{0.1}(L)$ en el mismo nivel de probabilidad.

Trayectoria tierra-espacio.

En este método H es la altura promedio para períodos largos del nivel de congelación en la atmósfera medida relativamente hasta el nivel del mar. La longitud efectiva promedio de la trayectoria tierra-satélite afectada por la lluvia es entonces (5):

$$L = \frac{(H - H_t)}{\sin(\theta)} \quad (27)$$

donde:

θ - ángulo de elevación visto desde la estación terrena

H_t - elevación terrestre medida desde el nivel mar.

Así, dado el ángulo de elevación θ , la elevación terrestre H_g y la distribución de intensidades de lluvia puntual de 5 min, se puede calcular la distribución de la atenuación por lluvia sobre la trayectoria tierra-satélite por medio del uso de las ecuaciones 2.4, 2.5, Y 2.7.

La ecuación 2.7 implica que la atenuación por lluvia de la trayectoria (R_p - L) varía exactamente como la cosecante del ángulo de elevación con esta sencilla ampliación del modelo terrestre.

En éste modelo la correlación entre lo medido y lo calculado es muy alta para frecuencias entre 11 y 30 GHz.

Crane desarrolla un modelo predictivo en términos globales en su aplicación, que puede ser utilizado en cualquier región, considerando su medio geofísico. Este medio está influido por los eventos meteorológicos y éstos, a su vez, conforman un clima específico para esa región geográfica. Las variables que son consideradas en forma directa son las siguientes:

- Intensidad de precipitación medida en cinco minutos.
- Altitud del lugar.
- Temperatura (dato estadístico).
- Presión atmosférica.
- Estadística de la ocurrencia de la isoterma de 0°C

El análisis estadístico de cada una de las variables mencionadas se lleva a cabo en base a la ubicación geográfica de 54 estaciones terrenas. En cada lugar se traza un radio de 50 km. Y se incluyen las estaciones de observación meteorológicas que están dentro del radio, obteniendo una ponderación global del área.

Las variables analizadas son:

- Temperatura.
Promedio de mínima.
Mínima extrema.
- Precipitación.
Acumulación máxima anual.

Acumulación mínima anual.

Número de días con lluvia apreciable.

Intensidad durante cinco minutos.

- Isoterma de 0°C.

Altitud en metros geopotenciales.

- Frecuencia de eventos.

Días con nieve.

Días con tempestad eléctrica.

Días con granizo.

Días con heladas.

Con base en esta información se calcula la probabilidad tanto anual como mensual de ocurrencia. De los datos que se obtuvieron, no todos se ven involucrados en el modelo predictivo, sin embargo, son considerados en la determinación exacta de la zona climática en que se ubicaron las estaciones terrenas.

Este modelo predictivo utiliza variables cuyas estadísticas han sido analizadas a nivel mundial y, por lo tanto, dicha información se encuentra en nuestro país. Además, para el caso del territorio nacional, estas estadísticas se apegan más a la clasificación utilizada por Crane. Inclusive el territorio quedó dividido en siete regiones hidrometeorológicas, según la intensidad de precipitación pluvial (figura 2.3).

Las diferentes zonas climatológicas son:

I	Noroccidente
II	Norte centro
III	Golfo norte
IV	Centro
V	Pacífico Centro
VI	Istmo
VII	Yucatán

Tienen un correspondiente margen de lluvia por atenuación a diferentes confiabilidades. En la tabla 2.1 se presentan estos márgenes por precipitación.

Resulta interesante notar que, conforme la confiabilidad es menor, la diferencia entre una y otra atenuación es menor. Esto se debe a que los promedios de intensidades de precipitación tienden a ser iguales conforme el tiempo de lluvia aumenta. Estos resultados se aplican unicamente para los enlaces en banda Ku, ya que para banda C, los efectos por precipitación son ilegibles para intensidades de 100 mm/H al 99.99% anual.

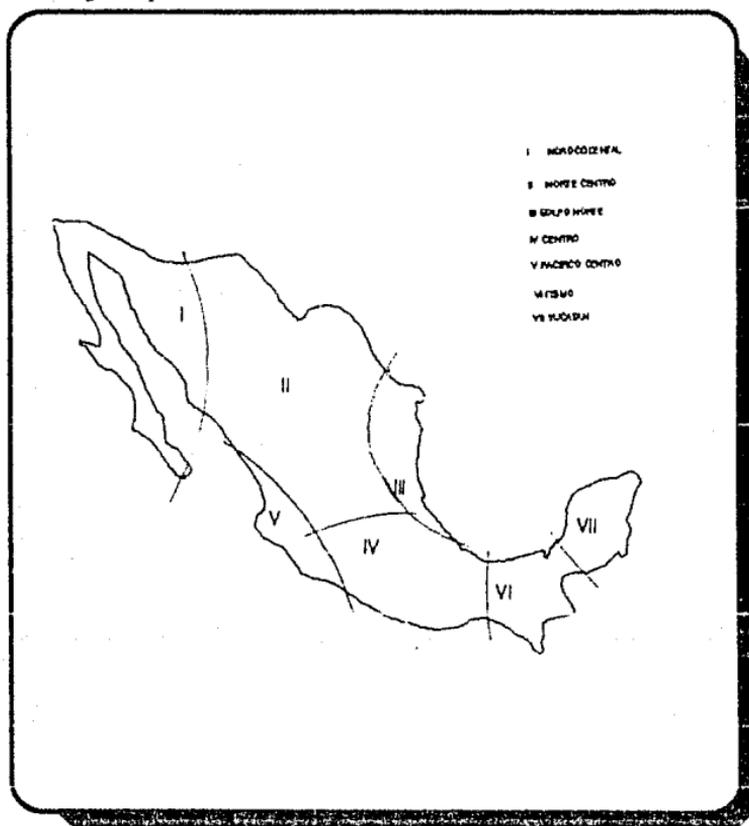


Figura 2.3. Diferentes zonas hidrometeorológicas en que está dividido México.

Zona Geográfica	Confiabilidad (%)						
		99.99	99.98	99.95	99.90	99.80	99.95
Nor Occidente	Tx	80	66	53	35	30	15
	Rx	6.0	4.6	3.3	1.5	1.0	-
Norte Centro	Tx	5.4	4.5	2.5	1.3	1.0	-
	Rx	3.4	2.5	0.5	-	-	-
Golfo Norte	Tx	12.7	11.0	10.0	9.2	6.8	3.5
	Rx	10.7	9.0	8.0	7.2	4.8	1.6
Centro	Tx	11.6	10.2	8.2	6.3	4.2	2.2
	Rx	9.6	8.2	6.2	4.3	2.2	0.2
Pacífico Centro	Tx	12.5	11.2	10.7	8.5	5.9	3.6
	Rx	10.5	9.2	8.7	6.5	3.9	1.6
Istmo	Tx	12.2	11.3	10.5	8.2	5.8	2.6
	Rx	10.2	9.3	8.5	6.2	3.8	0.6
Yucatán	Tx	13.9	12.3	11.1	8.9	6.0	2.9
	Rx	11.9	10.3	9.1	6.9	4.0	0.9

Tabla 2.1. Márgenes de lluvia a diferentes valores de confiabilidad.

En la figura 2.4 se muestra el comportamiento de la atenuación específica en función de la frecuencia para varios valores de intensidad de lluvia.

Para todas las intensidades de lluvia la atenuación específica aumenta muy rápidamente hasta frecuencias de unos 10 GHz. Por encima de 100 GHz, la atenuación específica no aumenta sensiblemente en función de la frecuencia, a no ser por intensidades de lluvia muy bajas. Por encima de unos 200 GHz, según sea la intensidad de lluvia, la atenuación específica disminuye ligeramente a medida que aumenta la frecuencia hasta 1000

GHz, en que ha alcanzado casi su límite óptico.

Las variaciones de la temperatura de las gotas con respecto al valor supuesto sólo tiene importancia en frecuencias inferiores a 20 GHz, y pueden ser causa de divergencias de hasta un 20% con relación a las curvas de la figura 2.4.

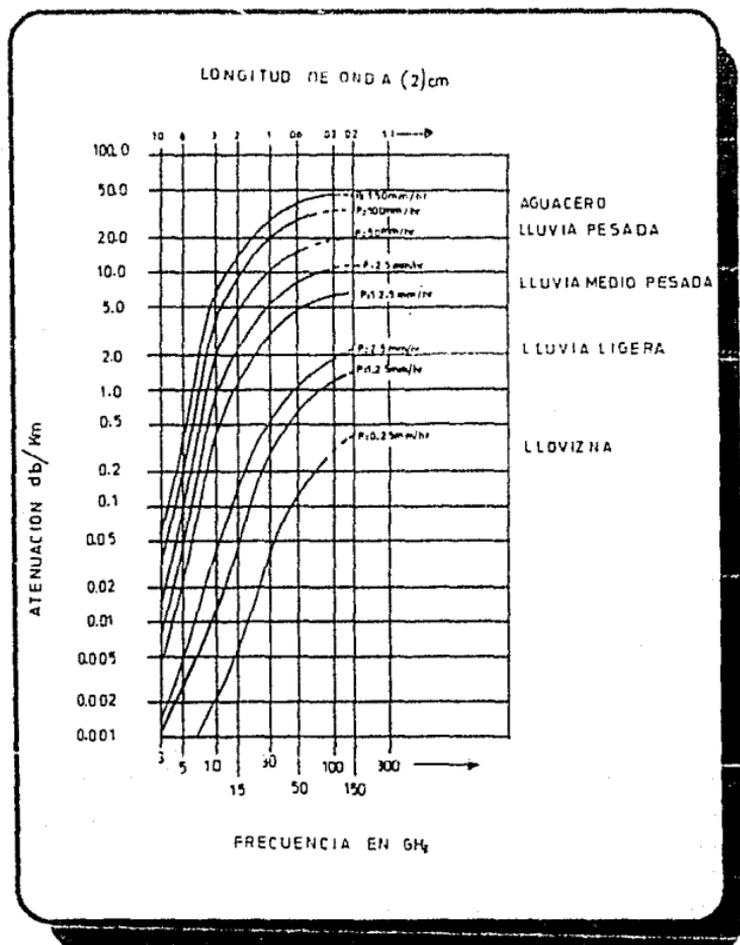


Figura 2.4 Gráfica de margen de lluvia a diferentes frecuencias

Atenuación en el Espacio Libre.

Se conoce como atenuación en el espacio libre al debilitamiento sufrido por las señales transmitidas considerando que estas viajarán en el vacío absoluto.

La figura 2.5 muestra valores de atenuación en función de la frecuencia considerando una distancia d igual a 36,000 km., correspondiente a la altitud de los satélites geoestacionarios. Como puede observarse la atenuación es importante y crece rápidamente conforme aumenta la frecuencia, sin embargo esto no debería limitar la utilización de frecuencias más elevadas ya que por otra parte se cuenta con la ventaja de que para una antena determinada su ganancia aumenta en relación directa con las frecuencias de las señales enviadas y recibidas.

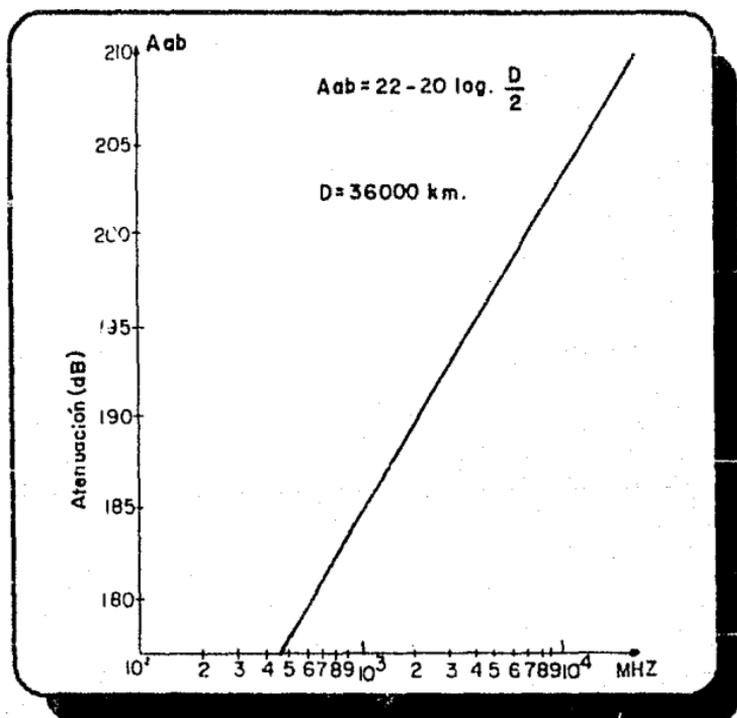


Figura 2.5. Atenuación en el espacio libre.

Atenuación Producida por Hidrometeoros Distintos de la Lluvia.

Si bien la lluvia es el hidrometeoro más importante que afecta a la propagación de las ondas, debe mencionarse también la influencia de las nubes, la niebla, la nieve y el granizo (principalmente en los trayectos tierra-espacio) y un fenómeno de capa de fusión. Las atenuaciones causadas por las nubes o niebla son relativamente pequeñas, pero pueden ocurrir para grandes porcentajes de tiempo.

En el caso de nubes con niebla constituidas enteramente por gotitas de agua de dimensiones generalmente inferiores a 0.01 cm, es válida la aproximación de Rayleigh, y se puede expresar la atenuación en función del contenido total de agua por unidad de volumen.

A frecuencias del orden de los 100 GHz o más, la atenuación causada por la niebla, puede llegar a ser importante. El contenido de agua en estado líquido de la niebla es típicamente de 0.05 g/m³ para una niebla de intensidad media (visibilidad del orden de 300 m) y de 0.5 g/m³ para una niebla densa (visibilidad del orden de los 50 m). La atenuación específica correspondiente sería, por ejemplo, de unos 0.4 dB/km y de 4 dB/km, respectivamente, a una frecuencia de 140 GHz. En la práctica los valores dependerán del tipo de niebla y también pueden influir en ellos anomalías en la absorción del vapor de agua.

Dada la diferencia de propiedades dieléctricas, las nubes constituidas por partículas de hielo causan atenuaciones que son de ordenes de magnitud menos importantes que las causadas por nubes de agua, aunque el contenido de agua sea el mismo en ambos casos, hasta 35 GHz. Para frecuencias superiores a ésta, la contribución de nubes de hielo a la atenuación puede ser importante.

En frecuencias inferiores a unos 30 GHz, la nieve seca apenas influye. A 30 GHz y con índice de lluvia equivalente de 10 mm/h, puede esperarse una atenuación específica de unos 3 dB/km.

En frecuencias superiores varias mediciones han demostrado la importancia de la atenuación causada por la nieve seca. La atenuación debida al granizo puede ser importante para frecuencias bajas de hasta 2 MHz. El granizo sólo parece tener importancia para porcentajes de tiempo inferiores al 0.001 en la mayoría de las regiones climáticas.

Aunque la precipitación en forma de nieve húmeda puede provocar mayor atenuación que la precipitación equivalente de lluvia. La degradación de las características de la antena debidas acumulaciones de nieve y hielo puede tener mayor importancia que la presencia de nieve a lo largo del trayecto.

APUNTAMIENTO

Los efectos físicos del medio ambiente pueden afectar la configuración y forma de la antena en el que las frecuencias deben ser lo más direccional posible y evitar radiaciones secundarias fuera de un ángulo de transmisión determinado; por lo tanto, considerando que una antena se encuentra orientada en la dirección de una fuente de radiación de energía, a medida que se pronuncia un desapuntamiento de dicha antena se producirá una disminución en la cantidad de potencia recibida. De igual forma si la antena se produce para la emisión de señales, la intensidad en la dirección de radiación máxima disminuye al alejarse la antena de ésta dirección. Con esto las variaciones de ganancia pueden representarse en función del desapuntamiento sufrido por la antena, bajo la forma de un diagrama el cual puede utilizar coordenadas cartesianas o polares.

Ganancia y directividad son parámetros que se encuentran estrechamente ligados, y entre más directividad tenga una antena tendrá mayor ganancia. Como se dijo anteriormente la antena debe apuntar al satélite, raramente éste apuntamiento es permanentemente fijo, algunas veces es ajustado y en algunas instalaciones está continuamente dirigido por un sistema de rastreo. Tales ajustes tienen tres categorías. El más simple y el más flexible es el sistema acimut-elevación también denominado "az-el". En éste tipo de sistema el eje de elevación gira sobre el eje acimutal, es decir, es paralelo al plano de la tierra, mientras que el acimutal es perpendicular a dicho plano.

Este sistema es simple, efectivo y se emplea con satélites de órbita geostacionaria en los que el movimiento longitudinal es reducido, a los 90 grados la antena pierde totalmente el movimiento acimutal, no se puede variar en ninguna forma la posición del acimut.

En el sistema de montaje x-y el eje de movimiento acimutal en el cenit es paralelo al plano de la tierra, al igual que el eje de movimiento vertical. Este sistema es recomendado para los satélites que describen órbitas no-

síncronas.

El sistema de montaje polar es también conocido con el nombre de montaje ecuatorial y comprende un eje paralelo a la línea de los polos y un eje perpendicular móvil alrededor del primero.

Como en el presente trabajo únicamente tratamos enlaces vía satélite en banda Ku, el sistema adecuado a utilizar para el apuntamiento o ajuste de antena es el "az-el" del cual las ecuaciones para las coordenadas de apuntamiento se incluyen más adelante.

CONTROL DE POTENCIA

En un enlace vía satélite el control de potencia durante un evento de lluvia atenuante es importante para mantener el nivel de potencia deseado en el receptor, esto es, se incrementa la potencia de transmisión durante el evento de lluvia y se reduce cuando se estima que el cielo está limpio.

Generalmente es deseable conservar la transmisión de potencia en el mínimo nivel aceptable para corregir la atenuación por lluvia y, al mismo tiempo, evitar interferencias con otros satélites (en el caso de control de potencia en el enlace ascendente) u otra estación terrena (en el caso de control de potencia en un enlace descendente) el control de potencia requiere un conocimiento de la trayectoria de atenuación en el enlace, para ser controlada. La obtención de ésta información depende más que nada del método implementado para el control de potencia en enlace ascendente como descendente, así como la configuración en particular del sistema de comunicaciones espaciales.

Generalmente, el control de potencia es aplicable para un solo servicio y un solo usuario puesto que las variaciones en el nivel de portadora en sistemas de multiportadora y el sistema multiusuario puede causar interferencias entre las portadoras que operan en el mismo transpondedor.

Las consideraciones relacionadas con las características únicas del control de potencia del enlace ascendente y descendente se discuten a continuación.

Control de Potencia en el Enlace Ascendente.

El control de potencia en el enlace ascendente proporciona recursos directos para la restauración de la señal del enlace ascendente durante un evento de atenuación por lluvia. Este se utilizará en aplicaciones de servicio fijo por satélite y está considerado también para enlaces alimentadores de servicio de radiodifusión vía satélite.

Se pueden implementar dos tipos de control de potencia:

Sistema de malla abierta y Sistemas de malla cerrada. En un sistema de malla cerrada el nivel de potencia transmitida es ajustada directamente conforme el nivel de señal recibido en el satélite, regresando vía enlace de telemetría y variando en el tiempo.

Es factible obtener rangos de control de más de 20 dB, pudiendo ser los tiempos de respuesta casi continuo si el nivel de la señal de telemetría recibida está disponible en una base de datos continua. La figura 2.6 muestra el diagrama de bloques simplificado del sistema de malla cerrada del control de potencia para el enlace ascendente.

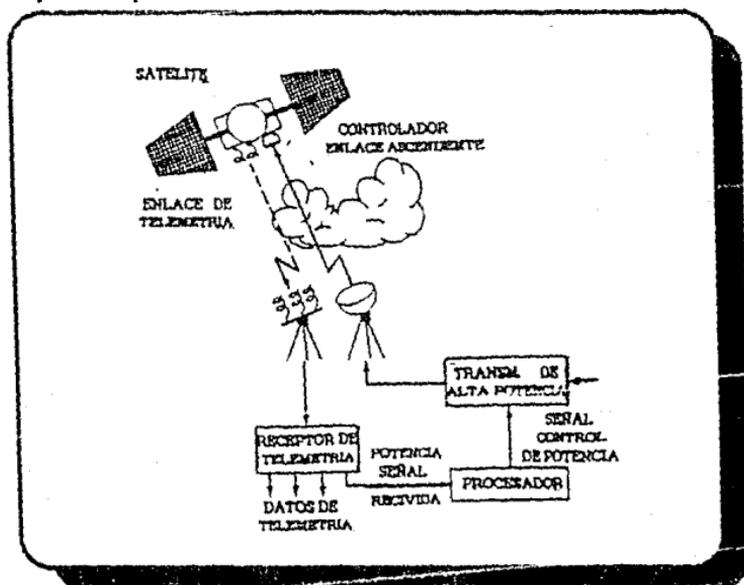


Figura 2.6. Sistema de malla cerrada del control de potencia para enlace ascendente.

En un sistema de control de potencia de malla abierta el nivel de potencia transmitida es ajustado mediante la operación de una señal de control de radiofrecuencia, la cual por sí sola se antepone a la atenuación por lluvia, y es usada para predecir la atenuación experimentada en un enlace de subida.

La señal de control de radiofrecuencia puede ser:

- a) La señal del enlace ascendente.
- b) Una señal de radiofaro en o cercana a la frecuencia de subida.
- c) Un radiómetro terrestre o un radar.

La figura 2.7 muestra el diagrama de bloques para las tres técnicas de malla abierta, las frecuencias 14/12 GHz se utilizan para enlace ascendente/descendente en los ejemplos.

En el sistema de control de señal del enlace descendente (fig. 2.7a) el nivel de la señal a 12 GHz es continuamente monitoreado y utilizado para desarrollar la señal de control para el transmisor de alta potencia. El nivel de señal de control se determina en el procesador a partir de los modelos predictivos de atenuación por lluvia, los cuales calculan la atenuación esperada en el enlace ascendente (a 14 GHz) a partir de la atenuación medida del enlace descendente (a 12 GHz).

En el sistema de control de señal radiofaro, (fig. 2.7b), una señal de amarre tipo radiofaro del satélite, preferentemente en la misma banda de frecuencias que el enlace descendente se utiliza para monitorear la atenuación por lluvia en el enlace. El nivel de señal detectado de la señal radiofaro es entonces utilizado para desarrollar la señal de control. Debido a que la atenuación de la señal medida está a la misma frecuencia a ser controlada (o en una muy cercana), no se requiere estimación en el procesador. Este método proporciona el más preciso control de potencia de las tres técnicas.

El tercer método, (fig. 2.7c) desarrolla una estimación de atenuación por lluvia en el enlace ascendente midiendo la temperatura del cielo con un radiómetro dirigido a la misma trayectoria del satélite conforme la señal ascendente.

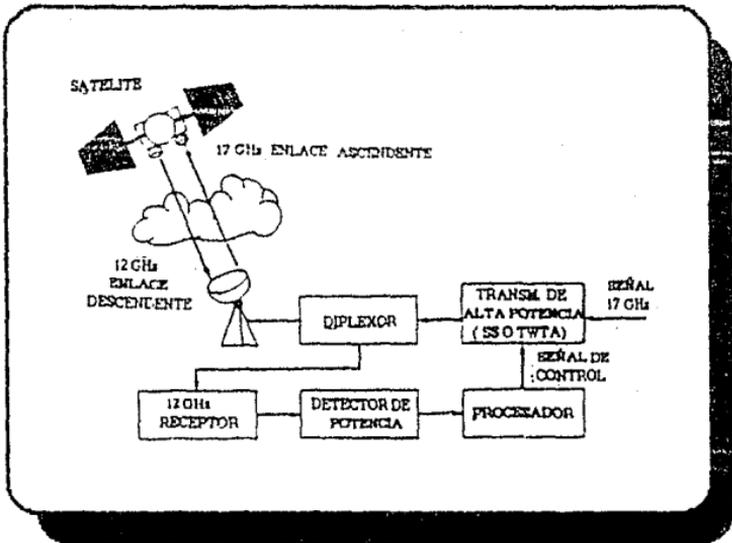


Figura 2.7a. Señal de control descendente.

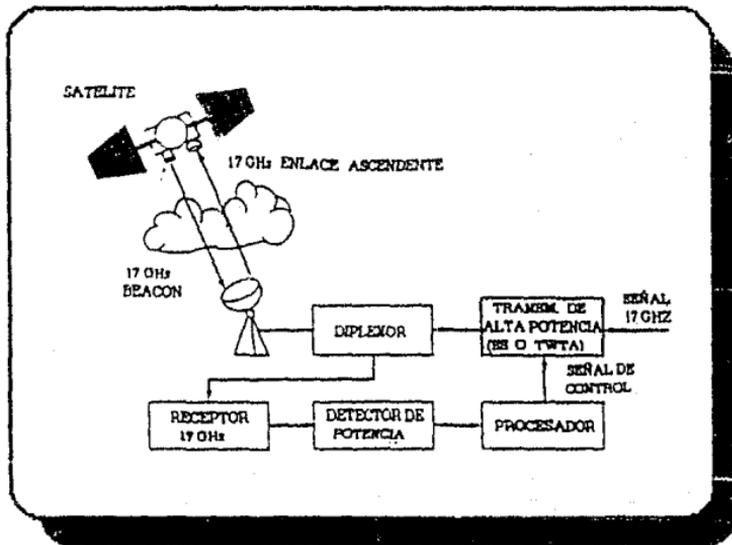


Figura 2.7b. Sistema de control de señal radio fijo

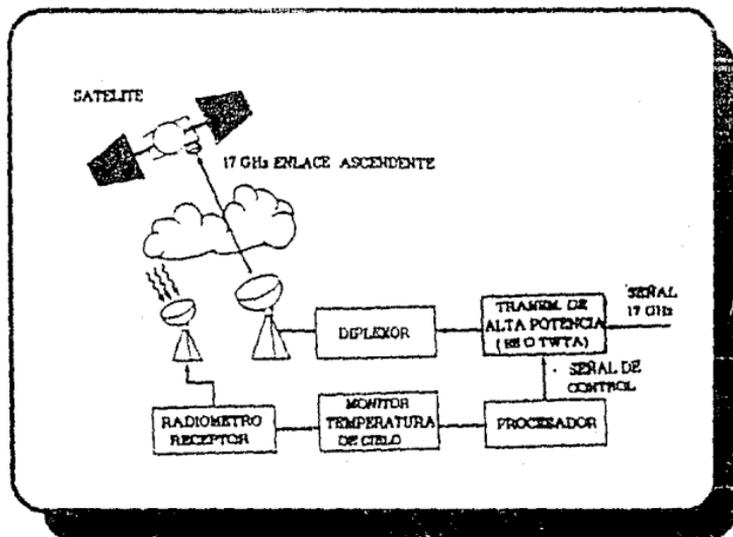


Figura 2.7 c. Señal de control Radiómetro terrestre.

La atenuación por lluvia puede ser estimada directamente de la temperatura de ruido T_r . La atenuación por lluvia A (dB) puede ser determinada apartir de T_s , manipulando la ecuación, es decir:

$$A(\text{dB}) = 10 \log \left[\frac{T_s}{T_s - T_r} \right]$$

Donde: T_r - Es la temperatura medida en K

La variación en la atenuación conforme a la trayectoria de la temperatura puede producir alrededor de 1 dB de error en la predicción a altos valores en la atenuación. Este método de control de potencia es el menos preciso de los tres métodos descritos y, generalmente, solo es implementado cuando no hay otros medios disponibles para determinar la atenuación en la trayectoria.

El control de potencia para el enlace ascendente tiene unas limitaciones básicas, sin importar cual método es utilizado. A menudo, es difícil mantener la densidad de flujo de potencia deseada en el satélite con una exactitud razonable, digamos ± 1 dB debido a:

- a) Errores de medición en la detección o procesamiento de la señal de control.
- b) Tiempo de retardo debido a la operación de control o
- c) Incertidumbre en los modelos de predicción usados para desarrollar las estimaciones de atenuación en enlace ascendente.

Además la atenuación en tormentas o lluvias puede alcanzar tasas de un dB por segundo. Nótese que las tasas de este nivel son difíciles de compensar debido a los tiempos de respuesta en el sistema de control.

Por otra parte, el control de potencia puede inducir interferencias adicionales debido a los efectos de polarización cruzada, ya que durante ésta los componentes de la polarización cruzada se ven incrementados; y si se aumenta además la potencia transmitida, consecuentemente se verán acrecentadas tales componentes, lo que hace mayor la probabilidad de interferencia por polarización cruzada hacia satélites adyacentes en posiciones orbitales cercanas.

Control de Potencia en el Enlace Descendente

El control de potencia en un enlace descendente vía satélite generalmente está limitado a uno o dos niveles fijos que pueden cambiar su modo de operación para compensar las pérdidas de atenuación por lluvia.

La división ACTS de la NASA (Tecnología Avanzada en Comunicaciones por Satélite) por ejemplo, que opera en las frecuencias de 30/20 GHz, tiene dos modos de operación en enlace descendente. El primero es el modo de potencia, que opera con 8 W de potencia de transmisión en RF, el segundo es el modo de operación en alta potencia, esto es, con 40 W de potencia de transmisión.

Debe indicarse que para generar los dos niveles de potencia antes descritos se utiliza un tubo amplificador de ondas progresivas (TWT), el cual proporciona alrededor de 7 dB como margen adicional para la compensación en la atenuación por lluvia en el modo de alta potencia.

El control de potencia para el enlace descendente no es eficaz para

dirigir la potencia adicional hacia una estación terrena al corregir la atenuación por eventos de lluvia, ya que la huella de iluminación (o patrón de radiación) de la antena recibe integralmente la potencia adicional.

Para el caso de un satélite que proporcione servicio a un gran número de estaciones terrenas geográficamente independientes, hay que mencionar que al resolver la más alta atenuación experimentada en una señal en una sola de las estaciones terrenas, el transmisor debería de operar en su región de potencia pico (o en una región muy cercana) casi continuamente (lo que constituye un gran problema si consideramos tanto la necesidad de un back-off y además, por su parte, el envejecimiento a que se someterían los componentes del transmisor).

Back-off

Antes de hablar del back-off podemos mencionar su definición como la siguiente:

Back-off es el proceso de reducir los niveles de potencia a la entrada y a la salida de un TWT para operar en la región lineal con el objeto de reducir el ruido de intermodulación.

En un enlace vía satélite la señal tiene que pasar por los amplificadores, que comúnmente son TWT's (tubos de onda progresiva), la amplitud de la portadora durante la amplificación tiene que sufrir un defasamiento en su modulación. Su nivel de amplitud va creciendo hasta alcanzar un estado de saturación, esto corresponde a una potencia máxima de salida.

En el caso que estemos trabajando con una sola portadora, esto es para TDMA, podemos estar cerca de la potencia de saturación sin causar graves problemas. En cambio utilizando múltiples portadoras, esto es, trabajando con FDMA, tenemos problemas importantes al trabajar cerca de la potencia de saturación del TWT, ya que la característica de respuesta de un amplificador TWT es no lineal, y el principal problema al que nos enfrentamos es el de la distorsión en la intermodulación. En el uso de múltiples portadoras, la potencia de saturación del amplificador en un enlace RF es diseñada para que opere en una zona lineal, este punto es llamado back-off (ver figura 2.8).

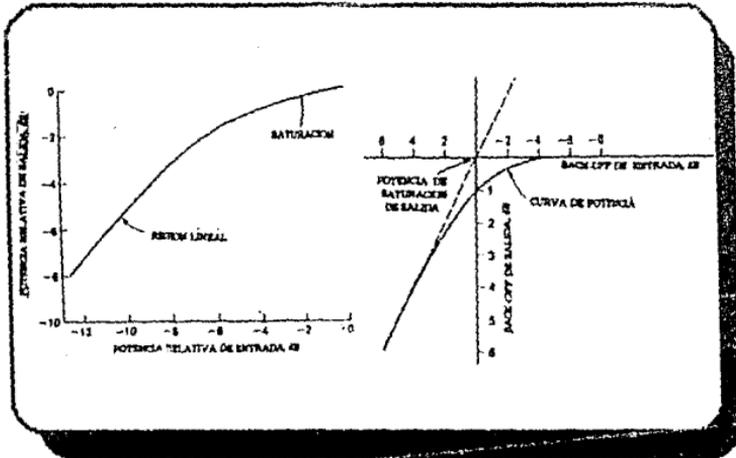


Figura 2.8. Características del TWTA, potencia-ganancia. a) Potencia normalizada, b) valores estandarizados de Back-Off.

El valor de 0 dB especificado como back off de entrada en la figura 2.11 corresponde a 1 dB abajo de la potencia de salida de saturación.

Cuando el back-off crece, la intermodulación decrece y la relación portadora a ruido de intermodulación (C/N)_i crece, asimismo la potencia disponible en el satélite decrecerá, al diseñar un enlace con un punto back off para una máxima (C/N)_i.

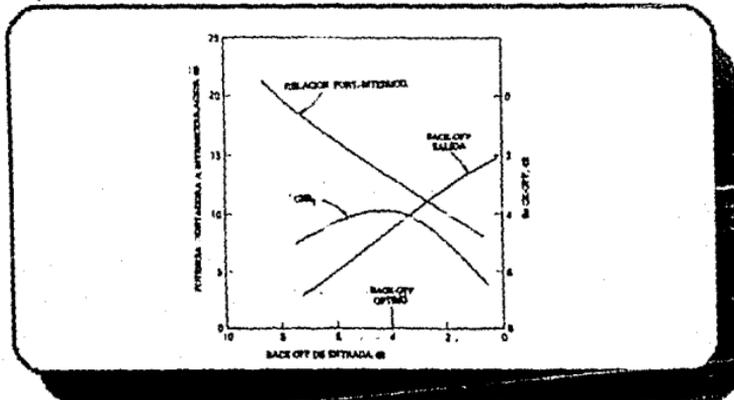


Figura 2.9. Gráfica de C/N_i contra Back-Off de salida.

DEDUCCION DE LAS ECUACIONES DE ENLACE.

Considerése un radiador isotrópico radiando una potencia P_t en ondas esféricas concéntricas, y definiendo la ganancia G_t como la razón de potencia de la señal en la dirección deseada a la potencia que se haya radiado isotropicamente, la potencia de la señal portadora captada por un receptor a una distancia R y teniendo una antena cuya apertura sea A_{ef} , se define mediante

$$C = \frac{P_t}{4 \pi R^2} G_t A_{ef} \quad (2.8)$$

Ya que:

Nivel de portadora = Densidad de Flujo x Apertura Efectiva

Al aplicar la fórmula universal para antenas se tiene:

$$A_{ef} = \frac{G \lambda^2}{4 \pi}$$

Donde:

G - Ganancia de la antena

Así entonces:

$$C = \frac{P_t G_t}{4 \pi R^2} \left[\frac{G_r \lambda^2}{4 \pi} \right] \quad (2.9)$$

Deducción de las Ecuaciones de Enlace

Por otra parte, el ruido térmico está dado por

$$N = k T_s B \quad (2.10)$$

Donde:

k - Constante de Boltzman = -228.6 dBJ/K

T_s - Temperatura del Sistema.

B - Ancho de banda requerido.

T_s es una medida del ruido por la participación del receptor, en tanto que B es el ancho de banda requerido según el esquema de modulación presente.

Consecuentemente, la potencia requerida para la portadora queda:

$$\frac{C}{N} = \frac{P_t G_t}{(4\pi R/\lambda)^2} \left[\frac{G_r}{T_s} \right] \frac{1}{kB} \quad (2.11)$$

Si ahora consideramos que la potencia isotrópica radiada equivalente (P.I.R.E.) es:

$$P.I.R.E. = P_t G_t \quad (2.12)$$

En tanto que la atenuación o pérdidas en el espacio libre son:

$$L_s = \left[\frac{4\pi R}{\lambda} \right]^2 \quad (2.13)$$

Donde:

λ - Longitud de onda de la señal

Tenemos ahora una ecuación para determinar la potencia de la portadora en recepción en términos de las ganancias de las antenas en ambos extremos del enlace, es decir, transmisión y recepción, misma que se presenta enseguida:

$$\frac{C}{N} = \frac{P.I.R.E.}{L_s} \left[\frac{G_r}{T_s} \right] \left[\frac{1}{kB} \right] \quad (2.14)$$

Puede verse fácilmente que el desempeño del receptor determina (C/N) y es caracterizado por G_r/T_r , un factor muy importante denominado Figura de Mérito (G/T) , que se expresa en dB/K.

Sin embargo, se puede representar en forma general, independientemente del ancho de banda mediante:

$$\frac{C}{N_o} = \left[\frac{\text{P.I.R.E.}}{L_r} \right] \left[\frac{G_r}{T_r} \right] \left[\frac{1}{k} \right] \quad (2.15)$$

Nótese que el buen funcionamiento del enlace, como lo mide o cuantifica (C/N_o) , es mejor para el caso en que es más alta la potencia transmitida y/o más baja es la temperatura del sistema receptor.

Para una mejor manipulación y utilización de las ecuaciones de enlaces vía satélite es conveniente expresarlas en decibeles. Así, la ecuación (2.15) queda:

(2.16)

$$\frac{C}{N_o} = \text{P.I.R.E.} - L_r + \frac{G_r}{T_r} - K$$

Misma que es válida tanto en enlace ascendente como descendente, con la restricción de que se usen para cada caso los valores operativos de la P.I.R.E. y la Figura de Mérito.

Una restricción importante es que las unidades sean consistentes, Por lo que a continuación se especifican.

$$[C/N_o] = [\text{dB Hz}]$$

$$[\text{P.I.R.E.}] = [\text{dBW}]$$

$$[L_r] = [\text{dB}]$$

$$[G/T] = [\text{dB/K}]$$

$$[K] = -228,6 [\text{dBJ/K}]$$

$$[B] = [\text{dB Hz}]$$

Enlace Ascendente.

Manejando un parámetro intermedio llamado ϕ que es la densidad de flujo requerida para producir la máxima potencia de salida o de saturación P_s ; para una sola portadora, se tiene que la densidad de flujo recibida es:

$$\phi = \frac{\text{P.I.R.E.}}{4 \pi R^2} = \frac{\text{P.I.R.E.} E_{F/T}}{L_s} \frac{4 \pi}{\lambda^2} \quad (2.17)$$

expresandola en decibeles:

$$\phi = \text{P.I.R.E.} - L_s + \frac{4 \pi}{\lambda^2} \quad (2.18)$$

Cuando $\phi = \psi$, esta ecuación puede emplearse para calcular el valor de la P.I.R.E. requerida en la estación terrena para proporcionar la densidad de flujo saturado requerida por el satélite; de esta manera llegamos a la siguiente ecuación:

$$\left[\frac{C}{N_o} \right]_{\text{dBc}} = \phi - \frac{4 \pi}{\lambda^2} + \left[\frac{G}{T} \right]_{\text{dBc}} - k \quad (2.19)$$

Enlace Descendente.

De manera similar a como se obtuvo el enlace ascendente, para el de

Deducción de las Ecuaciones de Enlace

bajada se tiene lo siguiente:

$$\left[\frac{C}{N_o} \right]_{\text{dsc}} = \left[\text{P.I.R.E.} \right]_{\text{dsc}} - \left[L_s \right]_{\text{dsc}} + \left[\frac{G}{T} \right]_{\text{dsc}} \cdot K \quad (2.20)$$

Cabe mencionar que para todos los tipos de amplificadores, independientemente de la electrónica que involucren sus componentes, se tiene una máxima potencia de salida o potencia saturada, lo que viene a constituir una limitación por efectos de no linealidad para la característica de transferencia instantánea del amplificador en cuestión, lo que viene a justificar la consideración del concepto de "back-off" (anteriormente explicado).

Así, cuando la potencia de salida del satélite es reducida una porción BOo, la potencia para el enlace de bajada se expresa mediante:

$$\left[\frac{C}{N_o} \right]_{\text{dsc}} = \left[\text{P.I.R.E.} \right]_{\text{dsc}} - \left[\text{BO}_o \right]_{\text{dsc}} - \left[L_s \right]_{\text{dsc}} + \left[\frac{G}{T} \right]_{\text{dsc}} \cdot k \quad (2.21)$$

Por otra parte, también debemos considerar que el P.I.R.E. ascendente se ve reducido una cantidad BOi, por lo que el enlace ascendente queda:

$$\left[\frac{C}{N_o} \right]_{\text{asc}} = \left[\text{P.I.R.E.} \right]_{\text{asc}} - \left[L_s \right]_{\text{asc}} + \left[\frac{G}{T} \right]_{\text{asc}} \cdot k \quad (2.22)$$

donde:

$$\left[\text{P.I.R.E.} \right]_{\text{asc}} = \text{P.I.R.E.} - \left[\text{BO}_i \right]_{\text{asc}}$$

Recuérdese que $\phi = \Psi - \text{BO}_i$, y si la amplificación del transpondedor se

reduce por el back-off, Ψ toma un nuevo valor, y

$$\left[\frac{C}{N_o} \right] = \Psi' \cdot \frac{4\pi}{\lambda^2} + \left[\frac{G}{T} \right]_{\text{MTC}} \cdot k \cdot \text{BO}_i \quad (2.23)$$

$$\left[\frac{C}{N_o} \right] = \Psi \cdot \frac{4\pi}{\lambda^2} + \left[\frac{G}{T} \right]_{\text{MTC}} \cdot k$$

Donde:

$$\Psi = \Psi' - \text{BO}_i$$

Temperatura de ruido

El cálculo del buen funcionamiento de un enlace también depende de la temperatura de ruido equivalente del sistema, denotada por T_e . Como ya fue explicado anteriormente, ésta es una forma de cuantificar el buen funcionamiento del receptor e involucra otros conceptos también ya explicados como ruido térmico, ruido de la atmósfera y del espacio exterior, así como también el ruido del dispositivo mismo. Un parámetro importante lo es la temperatura de la antena T_a , la cual es la temperatura equivalente de un resistor teniendo la misma salida de ruido disponible medido en las terminales de la antena; este parámetro depende del patrón de radiación, de la temperatura de los alrededores con los cuales la antena intercambia energía así como también del ruido recibido proveniente del espacio.

A continuación se explica una forma de calcular la temperatura del sistema; para ello se recurre a la temperatura de exceso T_e , algunas veces llamada temperatura de ruido en la etapa de salida. Así, por definición:

$$N_{\text{out}} = K G T_e B \quad (2.24)$$

Y también por definición:

$$T_i = T_s + T_e \quad (2.25)$$

Figura de Ruido

El concepto clásico de Figura de Ruido (o factor de ruido) se basó en la idea de que el deterioro en la relación señal a ruido o portadora a ruido a través de un dispositivo era una medida del ruido del dispositivo mismo. De esta manera:

$$\frac{C_{ent}}{N_{ent}} = F \frac{C_{sal}}{N_{sal}} \quad (2.26)$$

Donde F es la Figura de Ruido.

Si los niveles de portadora a la entrada y a la salida son relacionados por la ganancia de potencia disponible G y si el nivel de ruido de entrada es ($KT_{ent}B$) entonces:

$$N_{sal} = FGkT_{ent}B \quad (2.27)$$

Lo que puede ser reescrito como:

$$N_{sal} = (F - 1)GkT_{ent}B + GkT_{ent}B \quad (2.28)$$

Sin embargo, para evitar una Figura de Ruido como la antes definida en función de la temperatura de entrada, la I.E.E.E. ha estandarizado la

Deducción de las Ecuaciones de Enlace

definición de tal manera que T siempre es tomada a la entrada con un valor de $T_o = 290$ k.

Pero si la temperatura operativa de entrada, usualmente T_e , diferente de T_o , el ruido de salida queda:

$$N_{sa} = G k T_e B + (F - 1) G k T_o B \quad (2.29)$$

Por lo que:

$$k G T_e B = G k T_e B + (F - 1) G k T_o B \quad (2.30)$$

Y

$$T_e = T_e + (F - 1) T_o \quad (2.31)$$

Además, de la definición de temperatura de exceso:

$$T_e = (F - 1) T_o \quad (2.32)$$

Hasta el momento, las ecuaciones obtenidas para el enlace ascendente $(C/No)_{asc}$ como descendente $(C/No)_{des}$ sólo han tomado en cuenta la relación (C/No) para una sola portadora ya que, aún cuando se introdujo y explicó el concepto de back-off no se han tomado en cuenta los efectos de intermodulación debidos a las características de no-linealidad para los TWT en presencia de varias portadoras, por lo anterior, a continuación se incluye en las ecuaciones antes dichas, los efectos de intermodulación:

Deducción de las Ecuaciones de Enlace

Donde:
$$\left[\frac{C}{N_o} \right]_{im} = \left[\frac{C}{N} \right]_{im} + 10 \log (\text{BWFI}) \quad (\text{dBHz}) \quad (2.33)$$

$(C/N)_{im}$ - Valor determinado por el back-off de salida, con éste dato puede buscarse en gráficas el valor de $(C/No)_{im}$

BWFI - ancho de banda en frecuencia intermedia.

Si ahora además tomamos en cuenta para las ecuaciones de enlaces ascendente y descendente los efectos de atenuación por la acción de hidrometeoros, tenemos respectivamente:

$$\left[\frac{C}{N_o} \right]_{asc} = \Psi^j - \frac{4 \pi}{\lambda^2} + \left[\frac{G}{T} \right]_{asc} - k \cdot \text{BO}_i - M_a \quad (2.34)$$

$$\left[\frac{C}{N_o} \right]_{desc} = \left[\text{P.I.R.E.} \right]_{desc} - \left[\text{BO}_n \right]_{desc} - \left[L_s \right]_{desc} + \left[\frac{G}{T_s} \right]_{desc} - k - M_d \quad (2.35)$$

Donde:

M_a - Margen de atenuación por lluvia (para el porcentaje de confiabilidad deseado y que se obtiene de tablas) para el enlace ascendente.

M_d - Es el margen de atenuación por lluvia (que involucra el porcentaje de confiabilidad deseado) para el enlace descendente también es obtenido de tablas.

Ahora sólo nos falta obtener una ecuación en la que se consideren todos los efectos mencionados para así representar la relación total del enlace; esta se incluye a continuación.

$$\left[\frac{C}{No} \right]_{tot} = 10 \log \left[\begin{array}{c} 1 \\ \hline 1 \quad 1 \quad 1 \\ \hline \frac{(C/No)_{asc}}{10} \quad \frac{(C/No)_{desc}}{10} \quad \frac{(C/No)_{un}}{10} \\ \hline 10 \quad 10 \quad 10 \end{array} \right] \quad (2.36)$$

Hasta aquí hemos visto la manera en que se obtienen las ecuaciones del enlace ascendente y descendente abordándoles no sólo desde un punto de vista conceptual, sino que además se tiene la finalidad de mostrar cualitativamente las características de un enlace en el que se consideran importantes efectos como el ruido (en sus diversas manifestaciones), la intermodulación etc. para así obtener una expresión que nos indique la salida total o final del enlace.

Sin embargo, cuando en la práctica se calcula un enlace se requiere además un conjunto de parámetros que también afectan el desempeño del sistema tales como son las pérdidas en el equipo (filtros, atenuadores guías de onda, polarizadores, por deficiencias en el apuntamiento mismo de la antena, etc.) Así como también la disminución del nivel de la señal que se requiere por la interferencia que se presenta para canales vecinos en el satélite y también debido a los sistemas satelitales adyacentes.

Por otra parte, aunque ya se han incluido los efectos de back-off no se ha hecho el estricto enfoque para el caso en que se utilizan varias portadoras para el mismo enlace, ni se ha calculado dicho enlace para cuando se desconoce el número de dichas portadoras.

Por esta razón, se incluyen a continuación las ecuaciones necesarias para completar el cálculo del enlace que aunadas a otros parámetros y sus valores (nominales o determinados en la práctica o que se establecen según recomendaciones de organismos internacionales), concluyen el cálculo de un enlace completo vía satélite.

Pérdidas en el espacio libre:

$$L_s = 20 \log f(\text{GHz}) + 20 \log d(\text{km}) + 92.45$$

$$L_s = 20 \log f(\text{MHz}) + 20 \log d(\text{km}) + 32.45 \quad (2.37)$$

Donde:

d - Distancia de la estación terrestre al satélite.

Ganancia de la antena a base de reflector parabólico:

$$G_{ant} = 20 \log f(\text{GHz}) + 20 \log D(\text{m}) + 17.73$$

$$G_{ant} = 20 \log f(\text{MHz}) + 20 \log D(\text{m}) - 42.27 \quad (2.38)$$

Donde:

D - Diámetro de apertura de la antena.

Distancia de la estación terrena al satélite:

$$d = \left[(R + \text{ASNM})^2 + (R + H)^2 - 2(R + \text{ASNM})(R + H)\cos\beta \right]^{1/2} \quad (2.39)$$

Donde:

H = 35786 km, distancia del ecuador al satélite.

R = 6378 km, radio medio terrestre.

ASNM - Altitud de la estación terrena, o altura sobre el nivel del mar, misma que debe presentarse en km para homogeneidad de términos.

Además:

$$\cos \beta = \cos \gamma \cos (\Delta\delta) \quad (2.40)$$

Siendo γ - latitud de la estación terrena y

$$\Delta\delta = \delta_{E.T.} - \delta_{SAT} \quad (2.41)$$

Al ser $\delta_{E.T.}$ la longitud de la estación terrena, en tanto que δ_{SAT} es el ángulo de la longitud del satélite. Cabe mencionar que para el caso del Morelos I se tiene:

$$\delta_{SAT} = 113.5^\circ W$$

Por otra parte, los próximos parámetros solamente se indican pues sus valores varían según las recomendaciones antes mencionadas para diversas aplicaciones (siendo éstos varios valores los que se han adoptado por su común uso en la práctica).

Figura de Mérito de la estación terrena:

$$\frac{G}{T} = \frac{dB}{K}$$

E.T.

Este valor varía según las características de cada equipo de la estación terrena en cuestión así como también de los requerimientos ya sea que se trate de una señal de video o de un enlace SCPC (por sus siglas en inglés: Single Channel Per Carrier).

Pérdidas por apuntamiento

para enlace ascendente 0.20 dB

para enlace descendente 0.75 dB

Deducción de las Ecuaciones de Enlace

Dado que se incluyen gráficas en las que un dato de entrada lo constituye el ángulo de elevación de la antena de la estación terrena, enseguida se indica como calcularlo así como también el ángulo de acimut (la otra coordenada necesaria para que la antena de una estación terrena apunte hacia un satélite) para el caso en que no sean conocidos.

$$E_{lev} = \tan^{-1} \left[\frac{\cos(\Delta\delta)\cos(\gamma) - 0.15126}{(\sin^2(\Delta\delta) + \cos^2(\Delta\delta)\sin^2\gamma)^{1/2}} \right] \quad (2.42)$$

$$ACIMUT = 180^\circ + \tan^{-1} \left[\frac{\tan \Delta\delta}{\sin\gamma} \right] \quad (2.43)$$

Ahora sólo resta incluir la metodología para analizar un enlace en el que se desconoce el número de portadoras incluidas. Para ello partiremos del hecho de que para manejar enlaces digitales (principalmente de utilización de la banda Ku) se maneja una tasa de bits de error y que, aunado a esto, el modem de la estación receptora tiene un umbral de relación portadora a densidad de ruido descendente requerido para poder operar a la tasa de bits de error indicada denominado:

$$\left[\frac{C}{N_0} \right]_{\text{modem}}$$

Además se requiere que

$$\left[\frac{C}{N_0} \right]_{\text{en}} > \left[\frac{C}{N_0} \right]_{\text{requerida}}$$

Donde:

$$\left[\frac{C}{N_0} \right]_{\text{requerida}} = \left[\frac{C}{N_0} \right]_{\text{modem}}$$

Nota: ésta $(C/No)_{int}$ se hace poco mayor a la (C/No) requerida en forma arbitraria. Por ejemplo, si

$$\left[\frac{C}{No} \right]_{requerida} = 52.3 \text{ dB-Hz}$$

Se puede hacer que

$$\left[\frac{C}{No} \right]_{int} = 53 \text{ dB-Hz}$$

redondeando los decibeles al número entero siguiente.

A continuación se fija la tasa de bits de error, la cual nos lleva a buscar en las especificaciones de cada tipo de modem una $(C/No)_{modem}$. Por otra parte, en la práctica se ha encontrado que

$$\left[\frac{C}{No} \right]_{disc} = \left[\frac{C}{No} \right]_{int} + 3 \text{ dB-Hz} \quad (2.44)$$

Con este valor de $(C/No)_{disc}$ podemos despejar la P.I.R.E. del satélite de la ecuación 2.35

$$P:I:R:E_{sat} = \left[\frac{C}{No} \right]_{disc} - \left[\frac{G}{T} \right]_{ET-RX} - 228.6 + L_{sdca} + M_D \quad (2.45)$$

Deducción de las Ecuaciones de Enlace

entonces pasando ahora a obtener la ganancia del transpondedor, se utiliza también de manera práctica la siguiente expresión

$$g_t = \text{P.I.R.E.}_{\text{sat}} - \phi_{\text{sat}} + 39 \text{ dB} \quad (2.46)$$

Podemos calcular la potencia de entrada del satélite de la siguiente manera

$$\text{P.I.R.E.}_{\text{sat}} = P_{\text{ent}} + g_t$$

despejando P_{ent} tenemos que:

$$P_{\text{ent}} = \text{P.I.R.E.}_{\text{sat}} - g_t \quad (2.47)$$

Una vez encontrada la potencia de entrada al satélite podemos obtener la P.I.R.E. de la estación transmisora sumando a esta potencia las pérdidas en el espacio libre, las pérdidas por apuntamiento y las pérdidas por absorción, ver figura 2.10

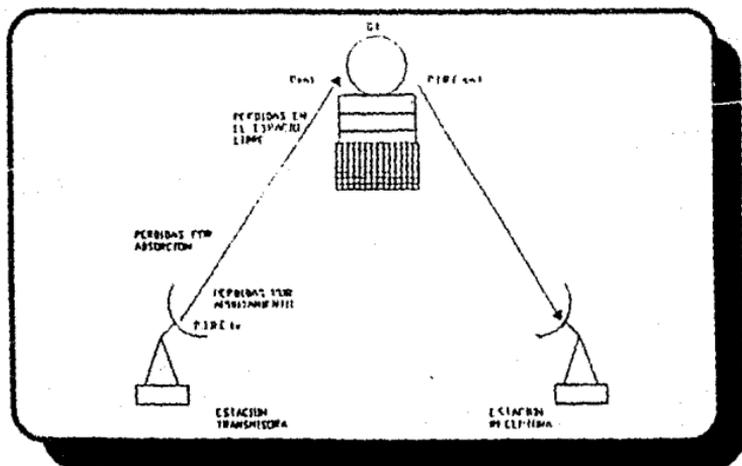


figura 2.10. Esquema de cálculo de la P.I.R.E. de la Estación Transmisora.

$$P.I.R.E._{ET} = P_{\text{em}} + L_{\text{atc}} + L_{\text{ap}} + L_{\text{atn}} \quad (2.48)$$

La densidad de flujo de saturación está dada por la ecuación:

$$\phi = P.I.R.E._{ET-TX} - 10 \log 4\pi d^2 \quad (2.49)$$

Donde:

d - distancia (en m) de la estación transmisora al satélite .

Enseguida obtenemos la $(C/N_o)_{\text{atc}}$ según

$$\left[\frac{C}{N_o} \right]_{\text{atc}} = \phi + \left[\frac{G}{T} \right]_{\text{sat}} - 20 \log f \text{ (GHz)} - 21.45 - k - M_a - B_{oi} \quad (2.50)$$

Cabe indicar que BO_i y BO_o son nominales: $BO_i = -8$ dB, $BO_o = -4.5$ dB así, para obtener la influencia cuantitativa de la intermodulación $(C/N)_{\text{im}}$ deberá consultarse de la figura 2.15 leyendo siempre para el caso $BO_o = 4.5$ dB y $n =$ infinito portadoras. Una vez hecho lo anterior, se conoce al aplicar la siguiente ecuación:

$$\left[\frac{C}{N_o} \right]_{\text{im}} = \left[\frac{C}{N} \right]_{\text{im}} + 10 \log \text{BWF} \quad (2.51)$$

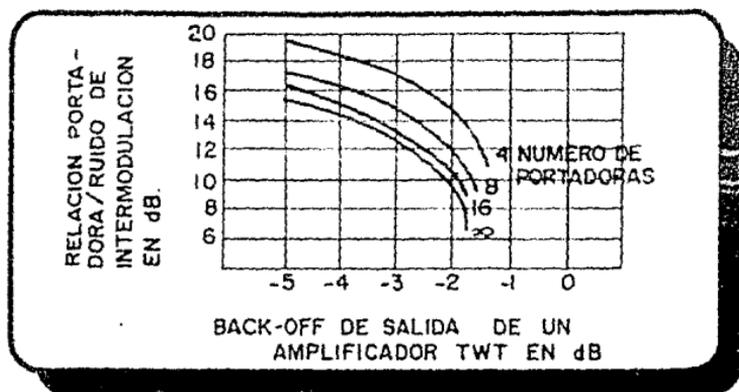


Figura 2.11.. Relación Portadora/Ruido de Intermodulación en función del Back-Off para un TWT.

Por último, la calidad final o total del enlace se determina según lo visto en la ecuación (2.36). Este valor $(C/N_0)_{tot}$ calculado deberá compararse con el $(C/N_0)_{req}$ postulado inicialmente. Si los dos valores difieren mucho (más de un decibel) será necesario efectuar iteraciones a fin de aproximarlos lo más posible. Para tal efecto se puede variar la potencia del HPA o la ganancia de la antena según convenga.

La potencia del HPA viene dada por la relación:

$$HPA = P.I.R.E_{ET-TX} - G_{ant-TX} - L_{LT} - BO_{HPA} \quad (2.52)$$

Ahora bien, suponiendo que fijamos el valor de ganancia de la antena; si la $(C/N_0)_{tot}$ es mayor que la $(C/N_0)_{req}$ disminuimos la potencia que se obtuvo con la ecuación 2.52, si resulta que es menor, damos un valor de potencia mayor. Al tener un nuevo valor de potencia se efectúan los cálculos anteriores pero en sentido inverso, es decir: a partir de la potencia y ganancia de la antena encontramos otra P.I.R.E. de la estación transmisora.

Por medio de la ecuación 2.50 y 2.51 obtenemos la $(C/No)_{asc}$. Posteriormente encontramos la potencia de entrada al satélite, de la ecuación 2.48

$$P_{ent} = P.I.R.E._{ET-IX} - L_{aba} - L_{ap} - L_{ca}$$

Por medio de la ecuación 2.47 podemos encontrar la P.I.R.E. del satélite:

$$P.I.R.E._{sat} = P_{ent} + g_t$$

Al tener la P.I.R.E. del satélite podemos encontrar la $(C/No)_{des}$ de la ecuación 2.45. Con $(C/No)_{asc}$ y $(C/No)_{des}$ podemos obtener un nuevo valor de $(C/No)_{sat}$.

Este nuevo valor de $(C/No)_{sat}$ nos sirve para compararlo con el (C/No) requerido. Este proceso se puede repetir hasta que los dos valores sean lo suficientemente aproximados.

El esquema de cálculo aquí mostrado fue sistematizado mediante un programa por computadora, el cual será explicado a continuación.

DESCRIPCION DEL PROGRAMA PARA CALCULOS DE ENLACE.

Por medio de este programa se analizarán los aspectos técnicos del comportamiento de algunas de las redes privadas para transmisión de voz y datos que operan en la República Mexicana.

En las siguientes páginas se dará una explicación de manera detallada de las funciones que realiza dicho programa, se mencionarán los algoritmos de solución así como el código de cada rutina.

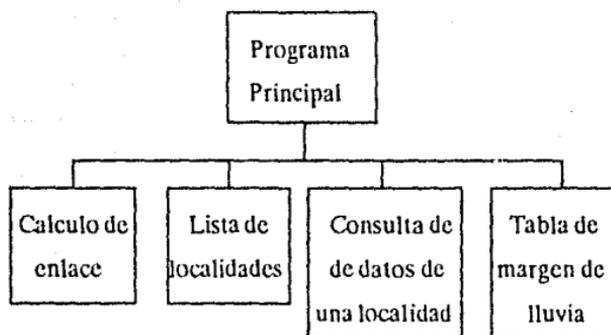
Primeramente se presenta el programa en un diagrama de bloques junto con una breve explicación de cada uno de éstos. Para realizar el cálculo

del enlace de cada una de las redes privadas es necesario contar con algunos datos que son propios de cada localidad, tales como coordenadas geográficas, número de zona, margen de lluvia, etc; por lo que fue necesario implementar una base de datos, de la cual se hace una descripción detallada, incluyendo el algoritmo de almacenamiento y el método de búsqueda empleado.

A continuación se describe con detalle la rutina más importante del programa, el cálculo del enlace; se explica cada una de las subrutinas que contiene, mencionando su función, variables que se utilizan y el código en Lenguaje Pascal. Asimismo se incluye un diagrama de flujo de esta rutina.

Finalmente se incluye un ejemplo real calculado por medio de éste programa.

DIAGRAMA DE BLOQUES.



Antes de entrar a la explicación del programa, es importante definir algunos conceptos que serán utilizados en esta explicación.

-Localidad. Una localidad es una ciudad o región en la cual se ha considerado que todas las estaciones terrenas que se encuentran dentro de ésta cumplen con las mismas características, tales como coordenadas geográficas, densidad de flujo necesaria para saturar el transpondedor, etc.

-Zona. Una zona es una región en la cual se considera que toda localidad que se encuentre dentro de ésta tiene el mismo margen de lluvia para un determinado factor de confiabilidad. Como se mencionó anteriormente en éste mismo capítulo la República Mexicana está dividida en 7 zonas, en la figura 2.5 se muestran las diferentes zonas en las que se divide el país y en la tabla 2.1 se muestran los márgenes de lluvia para cada zona a diferentes factores de confiabilidad.

CALCULO DEL ENLACE.

Esta rutina es la que está encargada de efectuar todas las operaciones necesarias para el cálculo del enlace. A partir de algunos datos, como son el nombre de las localidades (transmisión y recepción), frecuencias de operación, coordenadas geográficas, número de portadoras, etc, se obtienen resultados necesarios para el cálculo del enlace, como son distancia al satélite, ángulos de elevación de las antenas de transmisión y recepción, pérdidas en el espacio libre, etc, y lo que es el cálculo del enlace: relación portadora a densidad de ruido ascendente, descendente, de intermodulación y total. Además, mediante un método iterativo se puede encontrar la potencia óptima de transmisión para un cierto diámetro de antena.

LISTA DE LOCALIDADES.

Por medio de esta rutina se puede consultar la lista de localidades existente dentro de la base de datos, de tal forma que se pueda verificar si existe o no la localidad en cuestión.

CONSULTA DE DATOS DE UNA LOCALIDAD.

Esta rutina es sólo de consulta. Si se desconocen los datos de una localidad es posible consultarlos aquí y para ello es necesario seleccionar esta opción y dar el nombre de la localidad correspondiente. Los datos que serán desplegados son: Coordenadas de dicha localidad, zona en la que se encuentra, densidad de flujo para saturar el transpondedor, potencia isotrópica radiada efectiva y Figura de Mérito.

TABLA DE MARGEN DE LLUVIA.

Al igual que la rutina anterior, esta tabla es sólo de consulta, permite ver

cual es el margen de lluvia en (dB) para una determinada zona y un valor de confiabilidad dado.

BASE DE DATOS.

La base de datos que se implementó está constituida por dos tipos de identidades. La primera de ellas es la identidad Localidades y que está formada por los siguientes atributos:

NOMBRE	DEFINICIÓN
-Localidad	Nombre de localidad.
-Zona	Número de zona.
-Longitud	Longitud.
-Latitud	Latitud.
-ASNM	Altura sobre el nivel del mar
-PIRE	Potencia Isotrópica Radiada en saturación por transpondedor.
-G/T	Figura de Mérito por transpondedor.
-DFS	Densidad de Flujo para Saturar al Transponder

La segunda entidad es la de zonas y que está formada por los siguientes atributos.

NOMBRE	DEFINICIÓN
-Nombre de zona.	Nombre de Zona.
-Número de zona.	Número de Zona
-Tx.	Margen de lluvia en dB, transmisión.
-Rx.	Margen de lluvia en dB, recepción.

El archivo de localidades y el archivo de zonas se relaciona a través del campo Zona. Este campo en el archivo de localidades indica la posición en el archivo de zonas en el cual está contenida la información del margen de lluvia referente a la zona en la que se encuentra dicha localidad.

Estructura de los Registros de los archivos.

-Archivo de las localidades:

Localidades = Record

Begin

Localidad: string(20);

Zona: Integer;

Longitud, Latitud, ASNM : Real;

C angosto: Transponders;

C amplio: Transponders;

Banda Ku: Transponders;

end.

Donde el tipo transponders está definido como:

Transponders = record

Begin

Pire, DFS, G/T: Real;

End.

-Archivo de Zonas.

Zonas = Record

Begin

Nombre : String (20);

Tx, Rx : Array (1..6);

End.

Búsqueda de la información dentro de la base de datos.

Para poder efectuar el cálculo del enlace de una forma rápida y eficiente se implementó una estructura de datos en memoria RAM que almacenara únicamente los nombres de las diferentes localidades y su posición dentro del archivo de localidades. La estructura de datos que se seleccionó fue la de una lista ligada ordenada alfabéticamente por el nombre de la localidad.

En el momento en que se desee utilizar la información de una localidad, ya sea para hacer un cálculo o una consulta, basta con poner el nombre de la localidad, este nombre es buscado en la lista ligada, en caso de no ser encontrado se envía un mensaje de error, si es encontrado se trae la información completa de esa localidad de la unidad de disco.

A continuación se dará una explicación en detalle de la rutina del cálculo de enlace, ya que ésta es la que más importancia tiene.

El diagrama de flujo de esta rutina se muestra en la figura 2.12. El significado de la simbología se puede ver en el apéndice A.

Subrutina de búsqueda.

Para realizar el cálculo del enlace, lo primero que se tiene que hacer es proporcionarle a la computadora los dos nombres de las localidades, éstas localidades son buscadas en la lista ligada por el método ya descrito. La rutina de búsqueda es la encargada de realizar esta tarea.

Subrutina de Entrada de datos.

Esta rutina se encarga de pedir los datos necesarios para efectuar el cálculo del enlace, estos datos se listan a continuación, junto con las variables donde se almacenan, tanto para transmisión como para recepción.

Descripción	variable
Frecuencia de transmisión y recepción	Ft y Fr
Diámetro de antena	Dt y Dr
Pérdidas en líneas de transmisión	Ltrans
Factor de confiabilidad	Factort y Factorr
Figura de Mérito en recepción	GTR

Descripción del Programa

Ancho de Banda de FI

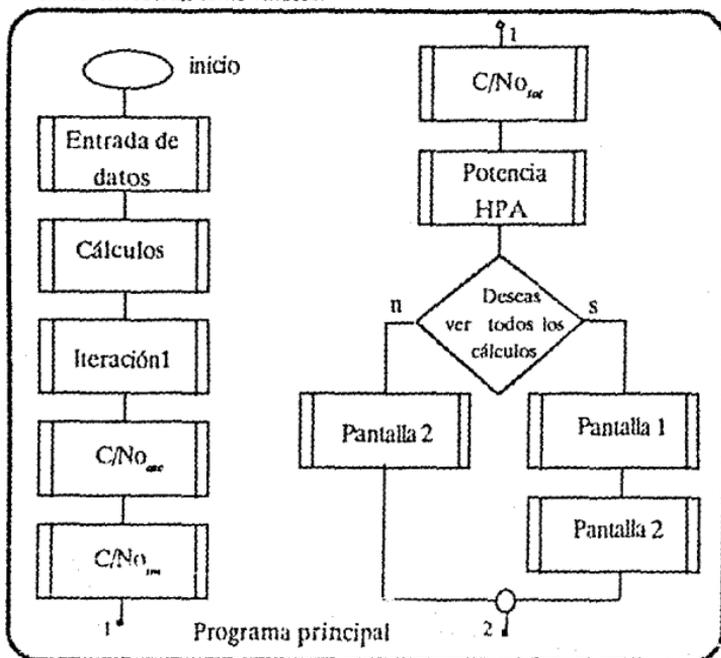
WBF1

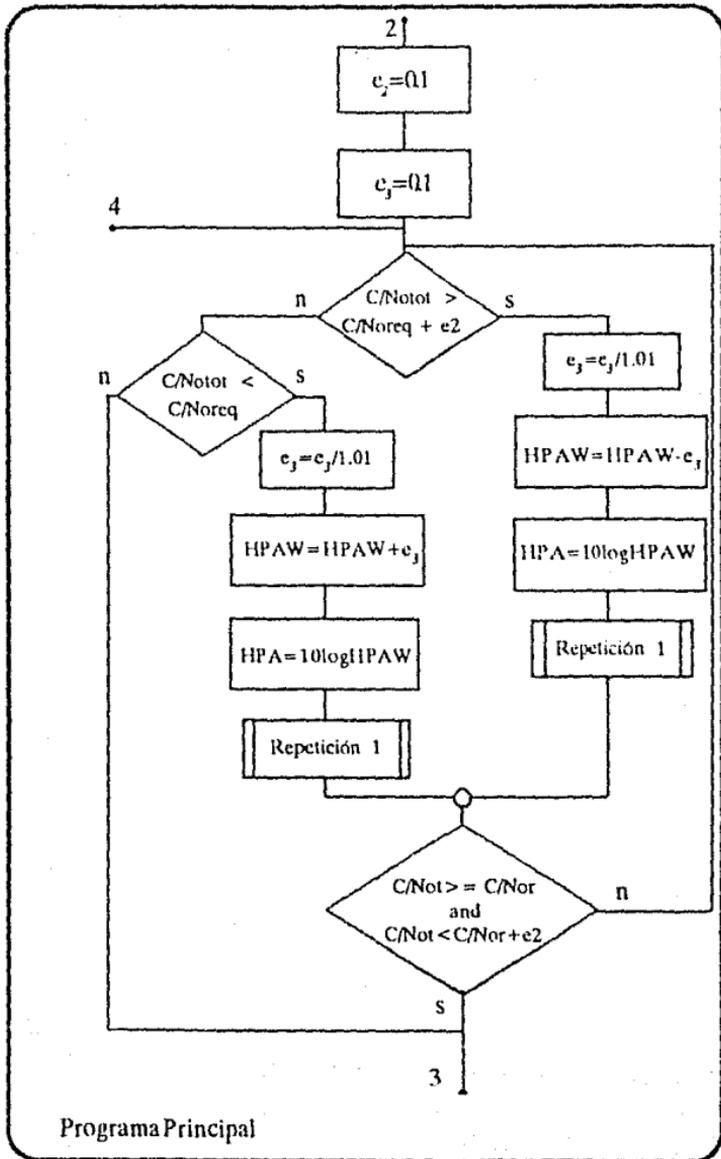
C/No Requerido

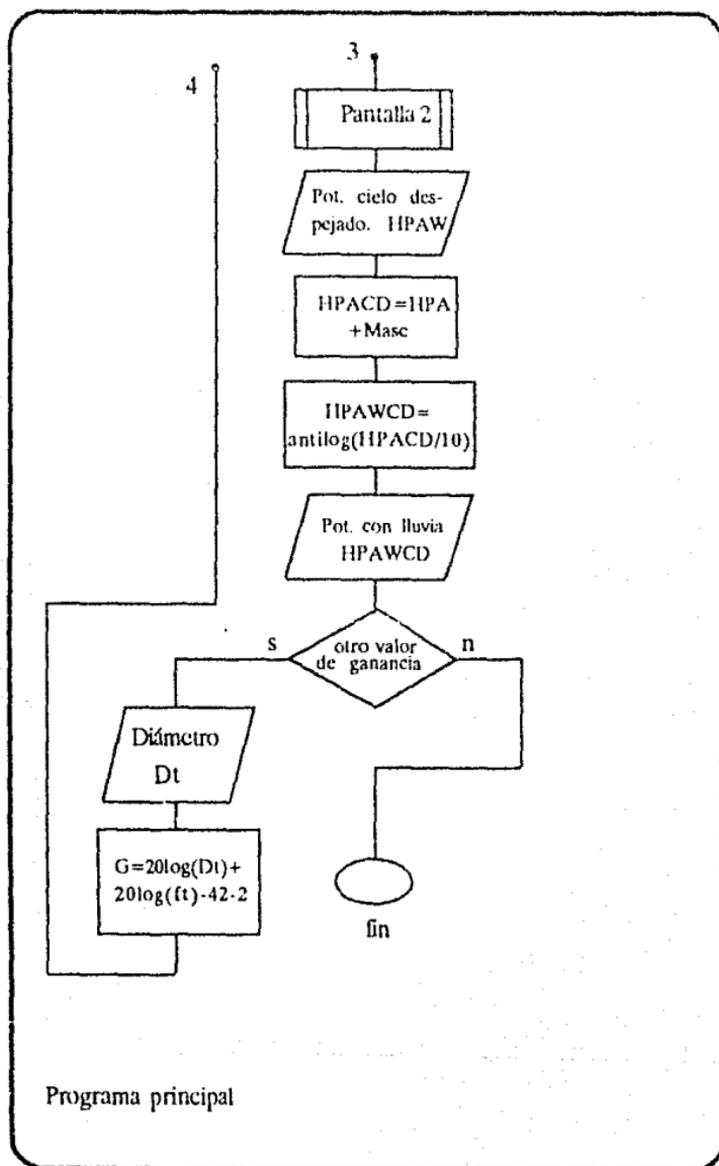
CNOR

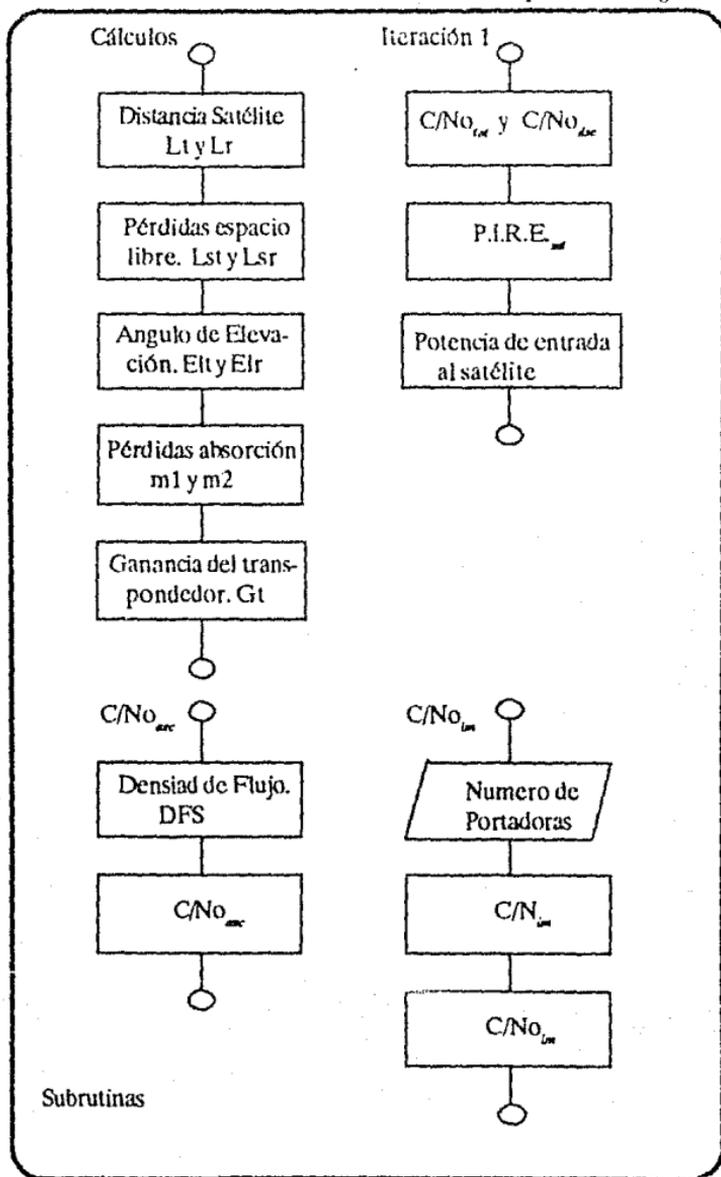
Posteriormente a la entrada de datos está la subrutina de cálculos que se realizan una sola vez durante el enlace. Estos cálculos se realizan tanto para transmisión como recepción y son: Distancia al satélite, ángulo de elevación, pérdidas en el espacio libre, margen por lluvia (que como ya se explicó depende del factor de confiabilidad y la zona en la que se encuentre la localidad).

Dependiendo del ángulo de elevación de la antena y de la frecuencia de operación se obtienen las pérdidas por absorción. En la gráfica 2.4 se muestran los valores de pérdidas por absorción para diferentes valores de frecuencia y ángulos de elevación. Para nuestro programa obtuvimos una tabla de valores discretos a frecuencias de 14 y 12 GHz, en la siguiente tabla se muestran estos valores.









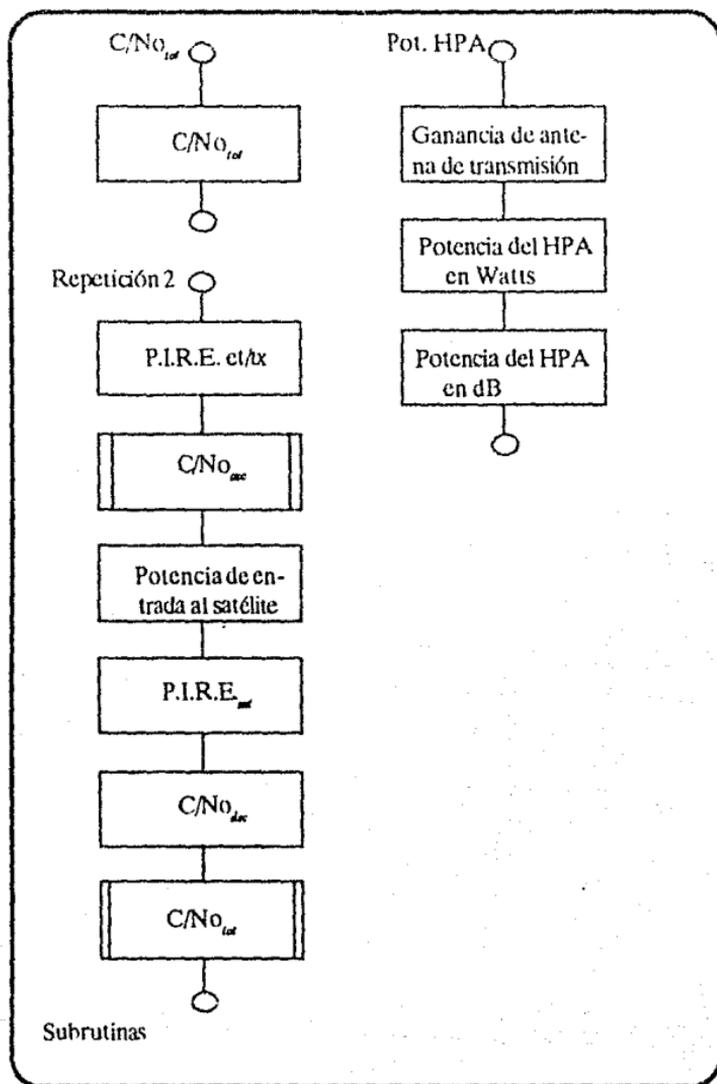


Figura 2.12. Diagrama de Flujo.

Angulo de elevación en grados	Pérdidas por absorción en Db.	
	Transmisión	recepción.
10	0.50	0.36
20	0.30	0.20
30	0.28	0.17
40	0.25	0.15
50	0.21	0.13
60	0.17	0.10
70	0.15	0.08
80	0.10	0.07
90	0.09	0.06

El valor obtenido de ángulo de elevación es aproximado mediante un simple algoritmo a un valor menor que esté en la tabla, por ejemplo, si el ángulo de elevación es 57.8 se aproxima a 50 y se obtiene el correspondiente valor de pérdidas por absorción.

Existen otros valores que también son necesarios y que sólo se realizan una vez durante el cálculo del enlace, estos son:

-Ganancia del transpondedor. Depende de la PIRE de saturación en recepción y la densidad de flujo de saturación en la transmisión.

-Relación portadora a densidad de ruido de intermodulación, la cual se obtiene de la ecuación 2.33. Para obtener $(C/N)_{im}$ se utilizó la siguiente tabla con valores discretos tomados de la gráfica 2.14.

No de portadoras	$(C/N)_{im}$ en dB.
4	19.0
8	16.7
16	15.5
infinito	14.5

Descripción del Programa

La forma en que se efectúan estos cálculos se presentó en éste mismo capítulo, por lo que sólo serán listadas las variables que se utilizan y su significado.

Descripción	Variable
Distancia al satélite.	Lt y Lr
Pérdidas en el espacio libre.	Lst y Lsr
Angulo de elevación.	Elt y Elr
Pérdidas por absorción	Labst y Labsr
Ganancia del transponder	Gt
C/NOi	CNOI

A continuación se muestra el código en Lenguaje Pascal de esta subrutina.

```
Procedure cálculos;
const
  rt=6378; h=35786; ls=113.5;
  conv=3.141592654/180; c1=92.45;
var
  aux1,aux2,aux3,logt,logr,latt,latr,logs: real;
  PireS,DFSs,aux4,aux5,aux6,aux7 :Real;
  Banda: Char;
  M1,M2: integer;
Begin
  logt:=datostras.longitud*conv;
  logr:=datosres.longitud*conv;
  latt:=datostras.latitud*conv;
  latr:=datosres.latitud*conv;
  logs:=ls*conv;
  aux1:=sqr(rt+h); aux2:=datostras.asnm+rt; aux3:=datosres.asnm+rt;
  (*calculo de la distancia al satélite y pérdidas en el esp. libre*)
```

Descripción del Programa

```
Lt:=sqrt(sqrt(aux2)+aux1-2*(aux2)*(rt+h)*cos(latt) * cos(logt-logs));
Lr:=sqrt(sqrt(aux3)+aux1-2*(aux3)*(rt+h)*cos(latr)*cos(logr-logs));
Lst:=c1+20*ln(Lt)*c2+20*ln(ft)*c2;
Lsr:=c1+20*ln(Lr)*c2+20*ln(fr)*c2;
(*cálculo de ángulo de elevación*)
aux6:=cos(latt)*cos(logs-logt); aux7:=cos(latr)*cos(logs-logr);
aux4:=arctan(sqrt(1-sqr(aux6))/(aux6));
aux5:=arctan(sqrt(1-sqr(aux7))/(aux7));
Elt:=(1/conv)*arctan((aux6-0.25127)/(sin(aux4)));
Elr:=(1/conv)*arctan((aux7-0.25127)/(sin(aux5)));
(*Cálculo de las pérdidas por absorción*)
M1:=10*trunc(Elt/10); M2:=10*trunc(Elr/10);
case M1 of
  10: Labst:=0.4;
  20: Labst:=0.25;
  30: Labst:=0.20;
  40: Labst:=0.18;
  50: Labst:=0.15;
  60: Labst:=0.1;
  70: Labst:=0.08;
  80: Labst:=0.074;
  90: Labst:=0.07;
end; (*end case*)
case M2 of
  10: Labsr:=0.4;
  20: Labsr:=0.25;
  30: Labsr:=0.20;
  40: Labsr:=0.18;
  50: Labsr:=0.15;
  60: Labsr:=0.1;
  70: Labsr:=0.08;
  80: Labsr:=0.074;
  90: Labsr:=0.07;
```

Descripción del Programa

```
end; (*end case*)
(*cálculo de la ganancia del transponder*)
begin
  PireS:=DatosTras.Banda_Ku.DFS;
  GTSAT:=Datostras.Banda_Ku.G_T;
end;
Gt:=PireS - DFSs + 39;
end;
procedure intermodulación;
Begin
  repeat
    write('numero de portadoras : '); readln(n);
    case n of
      4: cni:=19;
      8: cni:=16.7;
      16: cni:=15.5;
      32: cni:=14.5;
    end; (*end case*)
  until (n in [4,8,16,32]);
  CNOL:=cni+10*ln(WBF1)*c2;
end.
```

La parte del programa que realiza el cálculo del enlace se divide en dos rutinas principales: Iteración1 e iteración 2

En la primera se efectúan cálculos como la C/No_{tot} , C/No_{des} y C/No_{asc} partiendo de la C/No_{req} por el modem. Las ecuaciones utilizadas fueron explicadas anteriormente en éste mismo capítulo, por lo que sólo mencionaremos las variables que se utilizan y el código del programa.

Descripción	Variabie.
$(C/No)_{tot}$	CNOT
$(C/No)_{des}$	CNOD
Pire del satélite	Piresat

Descripción	Variable
Potencia de entrada al satélite	pots
Densidad de flujo	DF
$(C/N0)_{asc}$	CNOA

A continuación se muestra el código en Lenguaje Pascal de esta subrutina.

```

procedure iteración1;
begin
  (*cálculo de la pirc del satélite*)
  CNOT:=trunc(CNOR)+1; CNOD:=CNOT+3;
  PircSat:=CNOD - GTR -228.6 + 1sr + ZonaRes.Rx[IndiceFactorr];
  (*cálculo de la potencia de entra del satélite*)
  pots:=Pircsat-Gt;
  (*cálculo de la pirc de la estación transmisora*)
  pircet:=pots+Lst+Lapt+Labst;
end;
(*subrutina relación portadora a densidad de ruido ascendente*)
procedure ascendente;
var
  aux1:real;
begin
  (*densidad de flujo*)
  aux1:=sqr(Lt*1000);
  DF:=pircet-10*ln(12.56637062*aux1)*c2;
  (*cálculo de C/NO ascendente*)
  CNOA:=DF+GTSAT-20*ln(Ft)*c2-21.46+228.6;
end;

```

La rutina iteración 2 también se encarga de calcular los nuevos valores de $(C/N0)_{ms}$, $(C/N0)_{as}$ y $(C/N0)_{ar}$ pero, a diferencia de la rutina anterior, se parte de otro valor de potencia. Esta rutina se estará repitiendo hasta encontrar la potencia óptima del amplificador. Para ello se escoge una ϵ (e), tan pequeña según el grado de aproximación que se quiera, de tal

Descripción del Programa

forma que cuando se cumpla la expresión $(C/No)_{rec} \leq (C/No)_{tot} \leq (C/No)_{rec} + e$ la computadora dejará de iterar y los datos finales serán presentados.

Las variables que se utilizan son las siguientes:

Descripción	Variable
Potencia del HPA en Db	HPA
Pire estación transmisora	Pirect
$(C/No)_{rec}$	CNOA
Potencia de entrada al satélite	pois
Pire del satélite	Piresat
$(C/No)_{det}$	CNOD
$(C/No)_{tot}$	CNOT

A continuación se muestra el código de ésta rutina en Lenguaje Pascal.

Begin

 repeat

 If (CNOT > CNOR + e2) then

 begin

 e3 := e3 / 1.01;

 HPAW := HPAW - e3;

 repetición1;

 end

 else

 If (CNOT < CNOR) then

 begin

 e3 := e3 / 1.01;

 HPAW := HPAW + e3;

 repetición1;

 end;

 until (CNOT >= CNOR) and (CNOT <= CNOR + e2);

 clreol;

 pantalla2;

Descripción del Programa

```
writeln; writeln;
writeln ('potencia óptima a cielo despejado : ',HPAW:3:3);
HPACD:=HPA+zona*tras.Tx{indicefactor};
HPAWCD:=exp(HPACD/10*ln(10));
writeln ('potencia óptima con lluvia : ',HPAWCD:3:3);
End
```

Código de la subrutina repetición1.

```
Procedure repetición1
var
  aux:real;
Begin
  (*pire de la estación transmisora*)
  piret:=HPA+G-Ltrans;
  (*potencia de entrada al satélite*)
  pots:=piret-Lst-Lapi-Labs;
  (*pire del satélite*)
  piresat:=pots+Gi;
  (*c/n0 descendente*)
  CNOD:= piresat + GTR + 228.6 - Lsr - ZonaRes.Rs{IndiceFactor};
  aux:=1/(exp(CNOA/10*ln(10)))+1/(exp(CNOD/10*ln(10)))+1/
    (exp(CNOI/10*ln(10)));
  CNOT:=10*ln(1/aux)*c2;
  (*C/No ascendente*)
  aux:=sqr(Lt*1000); DF:=piret-10*ln(12.56637062*aux)*c2;
  CNOA:=DF+GTSAT-20*ln(Ft)*c2-21.46+228.6;
End;
```

A continuación se incluye un ejemplo de un cálculo de enlace entre la Ciudad de México y Tijuana realizado con éste programa.

Ejemplo de Cálculo de Enlace

Ejemplo de un cálculo de enlace para transmisión de datos en la banda Ku, de 64 kbps, entre la Ciudad de México y Tijuana. El cálculo fue resuelto en una computadora ps/50Z mediante el método ya descrito.

En la pantalla 1, la computadora pide los nombres de las localidades con las que se llevará a cabo el enlace.

Nombre de la estación transmisora	:México D.F
Nombre de la estación receptora	:Tijuana.

Pantalla 1

Ejemplo de Cálculo de Enlace

Si los nombres de las localidades son encontrados dentro de la base de datos, la computadora pide todos los datos necesarios para llevar a cabo el enlace. Estos datos son pedidos en la pantalla 2.

Datos necesarios para el cálculo del enlace.

Estación Transmisora.

Frecuencia de operación en GHz	:14.4 GHz
Diámetro de antena	:2.4 m
Pérdidas en líneas de transmisión	:0.5 dB
Factor de confiabilidad	:99.90

Estación Receptora.

Frecuencia de operación en GHz	:12.1 GHz
Diámetro de antena	:2.4 m
Figura de Mérito	:23.2 dB/K
Factor de confiabilidad	:99.90

Datos adicionales

Ancho de Banda de FI. en hertz	:128.000Hz
C/No Requerido	:53.36 dBHz
Número de portadoras	:16

Deseas ver todos los cálculos, S/N :S.

Pantalla2

Ejemplo de Cálculo de Enlace

Al final de la pantalla 2 aparece el mensaje: Desea ver todos los cálculos, S/N, si la respuesta es S aparecerá la pantalla 3, si es N, no aparecerá. A continuación se muestra la pantalla 3.

Resultado del enlace	
Enlace Ascendente	
Distancia E/T al satélite.	: 36,428.25 km
Angulo de elevación.	: 58.43 grados
Pérdidas en el espacio libre.	: 206.84 dB
Margen por lluvia.	: 6.30 dB
Pérdidas por apuntamiento.	: 0.10 dB
Pérdidas por absorción.	: 0.15 dB
Enlace Descendente	
Distancia E/T al satélite.	: 36,957.43 km
Angulo de elevación.	: 47.53 grados
Pérdidas en el espacio libre.	: 205.46 dB
Margen por lluvia.	: 1.50 dB
Pérdidas por apuntamiento.	: 0.10 dB
Pérdidas por absorción.	: 0.18 dB

Pantalla 3

Ejemplo de Cálculo de Enlace

En la pantalla 3 aparecen algunos cálculos que se requieren para el enlace. Es posible no presentarlos ya que, aunque son indispensables para el enlace, no forman parte del resultado final.

En la pantalla 4 aparece el cálculo del enlace para la primera iteración, como datos importantes están la potencia del amplificador, la C/No_{tot} y la C/No_{req} . Se puede observar que en esta primera iteración la C/No_{tot} y la C/No_{req} difieren mucho.

Resultado del enlace	
P.I.R.E. de la estación transmisora.	: 45.846 dBW.
Ganancia de la antena.	: 48.571 dB.
Potencia del HPA en dBW.	: -2.226 dBW.
Potencia del HPA en W.	: 0.599 W.
C/No Ascendente.	: 70.02 dBHz.
C/No Descendente.	: 57.00 dBHz.
C/No Intermodulación.	: 66.57 dBHz.
C/No Requerido.	: 53.36 dBHz.
C/No Total.	: 56.35 dBHz.

Presione cualquier tecla para continuar...

Pantalla 4

Ejemplo de Cálculo de Enlace

Al final de la pantalla 4 aparece el mensaje: Presione cualquier tecla para continuar, al hacerlo aparece el mensaje: Espere un momento..., en esta parte la computadora está realizando las iteraciones para encontrar la potencia óptima de transmisión.

Cuando el proceso iterativo ha terminado, la pantalla 4 se vuelve a imprimir, pero ahora con los valores óptimos.

Resultado del enlace	
P.I.R.E. de la estación transmisora.	: 42.974 dBW.
Ganancia de la antena.	: 48.571 dB.
Potencia del HPA en dBW.	: -5.097 dBW.
Potencia del HPA en W.	: 0.309 W.
C/No Ascendente.	: 67.146 dBHz.
C/No Descendente.	: 54.129 dBHz.
C/No Intermodulación.	: 66.572 dBHz.
C/No Requerido.	: 53.360 dBHz.
C/No Total.	: 53.687 dBHz.
Potencia óptima a cielo despejado : 0.309 W, -5.097 dBW	
Potencia óptima con lluvia	: 1.319 W, 1.203 dBW
Desea hacer los calculos con otro valor de ganancia, S/N: S	
Nuevo diámetro de antena transmisora: 3.2 m.	

Pantalla 5.

Ejemplo de Cálculo de Enlace

Por ser la potencia óptima del HPA el valor más importante, se imprime tanto para cielo despejado como considerando el margen de lluvia. Se puede observar que la C/N_{tot} tiene un valor muy aproximado a la C/N_{req} , por lo que la potencia del HPA se ha optimizado.

Resultado del enlace

P.I.R.E. de la estación transmisora.	: 42.893 dBW.
Ganancia de la antena.	: 51.070 dB.
Potencia del HPA en dBW.	: -7.928 dBW.
Potencia del HPA en W.	: 0.171 W.
C/No Ascendente.	: 67.065 dBHz.
C/No Descendente.	: 54.047 dBHz.
C/No Intermodulación.	: 66.572 dBHz.
C/No Requerido.	: 53.360 dBHz.
C/No Total.	: 53.610 dBHz.

Potencia óptima a cielo despejado: 0.171 W, -7.928 dBW

Potencia óptima con lluvia : 0.687 W, -1.378 dBW

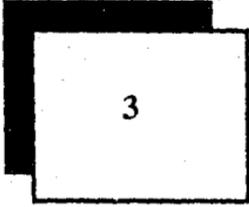
Desear hacer los cálculos con otro valor de ganancia, S/N: N

Fin de sesión.

Pantalla 6.

Ejemplo de Cálculo de Enlace

Al final de la pantalla 5 aparece el mensaje: Deseas hacer los cálculos con otro valor de ganancia, si la respuesta es S, se pide otro valor para el diámetro de la antena transmisora y se realiza nuevamente el cálculo del enlace. En nuestro ejemplo primero se utilizó un diámetro de antena de 2.4 m y posteriormente uno de 3.2 m. En la pantalla 6 se muestra el cálculo con este último diámetro, se puede observar que al ser la antena más grande, la potencia del HPA es más pequeña.



3

**ESQUEMAS DE
MODULACION
Y TECNICAS
DE ACCESO**

INTRODUCCION

A lo largo de este capítulo se expondrán los tipos de modulación y las técnicas de acceso más usuales en las comunicaciones por satélite de servicio fijo. Se advierte que los temas abordados tendrán un punto de vista cualitativo; es decir, únicamente se atenderán los aspectos principales de cada técnica como son su definición, sus ventajas y sus desventajas, evitando las expresiones matemáticas que gobiernan cada caso. En este sentido, se comentan las modulaciones analógica y digital empleadas en las comunicaciones por satélite, haciendose notar el aspecto digital dada la importancia que reviste para las redes digitales. De esta manera, se distinguen las modulaciones binarias básicas (ASK, FSK, PSK) y las combinaciones que hacen posible una mayor eficiencia en los enlaces (BPSK, QPSK, QAM). Se atiende, en forma un poco especial, la modulación PSK por ser esta una de las técnicas más utilizadas en comunicaciones por satélite.

A continuación se exponen dos técnicas para corregir errores (FEC, ARQ) con algunas de sus principales virtudes.

Posteriormente se tratan los tipos de acceso a los satélites en cuestión y, además, la manera en que se asocian ciertas técnicas de modulación y multiplexión a tales modos de acceso.

Con esta técnica, en un primer plano, se definen y comentan las tres principales técnicas de acceso (TDMA, FDMA, CDMA) y sus modalidades de asignación previa y por demanda. En segundo término se desglosa cada uno de los sistemas de acceso y se hace hincapié en un caso particular de FDMA que es el SCPC. Finalmente se hace una comparación entre las técnicas y se indica cómo estos accesos son utilizados en el Sistema de Satélites Morelos (SSM) y en que servicios.

ESQUEMAS DE MODULACION

Actualmente en el servicio fijo por satélite (SFS), la modulación de frecuencia (FM), para señales analógicas, y la modulación por desplazamiento de fase (PSK), para las señales digitales, son los métodos más comúnmente utilizados.

MODULACION ANALOGICA.

La modulación en frecuencia se utiliza ampliamente en las comunicaciones por satélite porque resulta sumamente conveniente en los sistemas de una sola portadora por transpondedor; en éstos la envolvente constante de la señal FM hace posible que los amplificadores de potencia operen en saturación aprovechando así la potencia disponible al máximo. Esta modulación de frecuencia es utilizada generalmente en los sistemas FDM-FM (multiplexión por división de frecuencia-frecuencia modulada). La razón fundamental por la cual se prefiere modular a las señales analógicas en frecuencia (FM), y no en amplitud (AM), es porque los sistemas de este tipo son inmunes al ruido causado por las fluctuaciones en la amplitud de la señal. Además, presenta bajos requerimientos de potencia, lo que significa menos problemas de interferencia entre los diferentes servicios. Por otra parte, la modulación FM permite la compartición de canales en un grado mucho mayor que en AM y se obtiene una figura de mérito (G/T) más adecuada en el equipo de recepción.

MODULACION DIGITAL.

Son tres las técnicas de modulación digital para señales binarias: Modulación por desplazamiento de amplitud, ASK; modulación por desplazamiento de frecuencia, FSK; y modulación por desplazamiento de fase, PSK. Las tres utilizan la modulación de una portadora sinusoidal continua; pero el sistema PSK tiene una mayor relación señal a ruido que el FSK y este a su vez mayor que ASK. Además, el ancho de banda de FSK es mayor que PSK y éste es igual al de ASK. En la figura 3.1 se muestra la forma de modulación ASK, FSK y PSK.

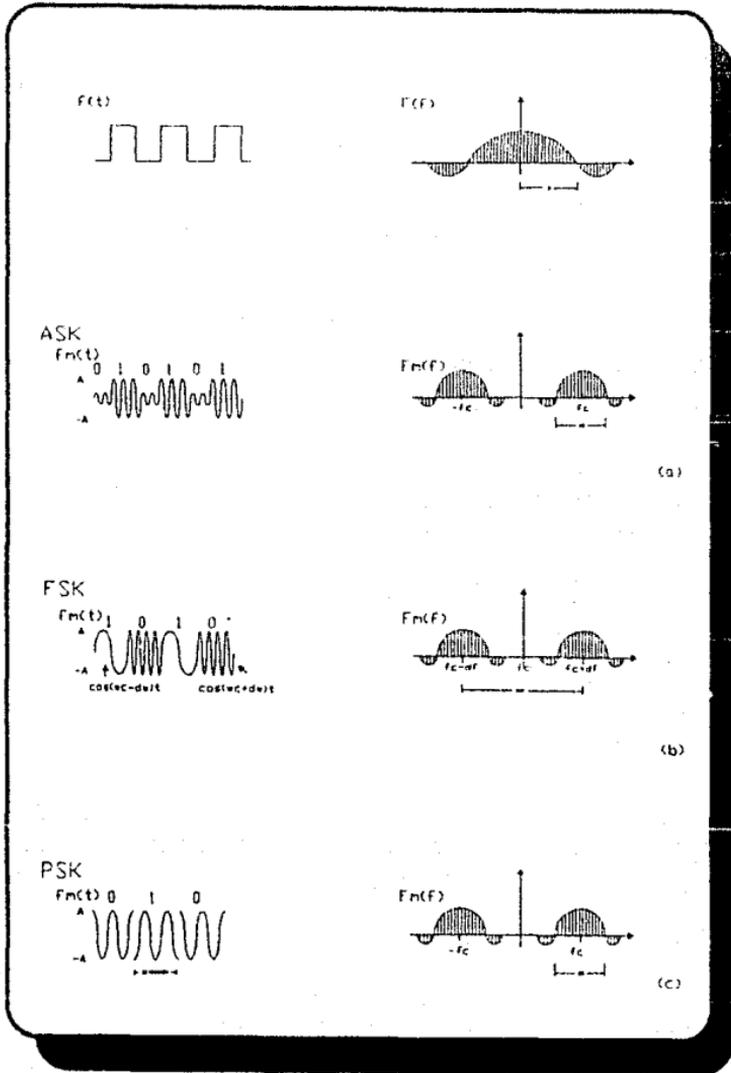


Figura 3.1. La figura muestra las tres formas básicas de modulación digital: a) Modulación por Desplazamiento de Amplitud, ASK, b) Modulación por Desplazamiento de Frecuencia, FSK, c) Modulación por Desplazamiento de Fase, PSK.

Primordialmente, es por los motivos antes expuestos que se prefiere la modulación PSK.

Por otra parte, en cada uno de los tres sistemas de modulación digital pueden utilizarse señales multisímbolo o M-Arias. Sin embargo, M-ASK es más susceptible al ruido y al error en la detección debido a los diferentes niveles, mientras que en M-FSK aumenta considerablemente el ancho de banda. En M-PSK los límites son más complicados, y para eliminar alta probabilidad de error en la detección se limita el número de niveles a 10; M-PSK es el de mayor uso. Este último sistema utiliza una fase distinta para cada señal, cuando PSK es binaria se le llama B-PSK y se representa con las dos fases 0 y π . Ahora bien, si la modulación es cuadrifásica o cuaternaria (4-PSK) recibe las siglas de QPSK y representa dos códigos binarios mediante las fases cuadráticas: $0, \pi/2, \pi$ y $3\pi/2$. Una Constelación de Fases para la técnica QPSK se muestra en la figura 3.2.

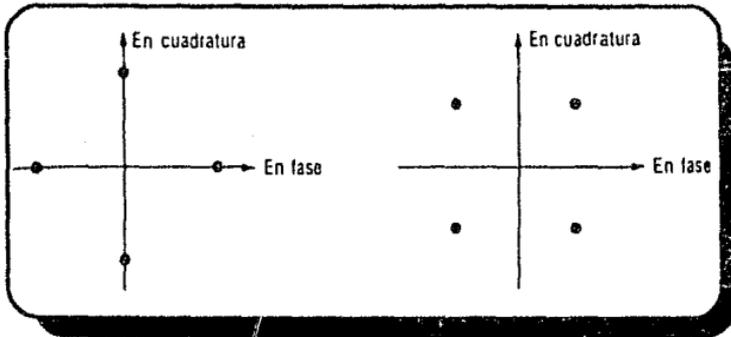


Figura 3.2. Constelaciones de señales QPSK

En BPSK el ancho de banda se limita, aproximadamente, a la tasa de bits, con lo que consecuentemente se pierde la energía de los lóbulos laterales, lo cual ocasiona una disminución en la eficiencia del desempeño de la técnica BPSK.

Por la razón anterior, en la práctica se utilizan técnicas de modulación más sofisticadas para así disminuir la potencia en los lóbulos laterales al tener más energía en el lóbulo principal; esto se logra procesando la señal digital en tal forma que la señal tenga transiciones menos abruptas. Al eliminar tales transiciones se tiende a limitar el ancho de banda esencial de la señal proveyendo así una operación más eficiente.

Debido a que los demoduladores digitales efectúan decisiones en cada intervalo de tiempo por bit, la tasa de error es una función similar a la relación señal a ruido, pero lleva por nombre relación energía por bit a densidad de ruido, E_b/N_f . Note que si el ancho de banda es igual a la tasa de bits, entonces:

$$\frac{C}{N} = \frac{E_b}{N_f}$$

Para tener una mejor utilización del ancho de banda de radiofrecuencia sin degradación en la tasa de error, se emplea la técnica de cuatro fases QPSK o PSK cuaternario, para ello se operan dos moduladores BPSK en cuadratura. No obstante, el ancho de banda de la señal QPSK es exactamente la mitad del de BPSK para la misma tasa de bits teniendo en cuenta, además, que la probabilidad de error es idéntica a la de BPSK operando en modo símbolo.

Por lo anterior se concluye que el uso de QPSK ofrece una significativa ventaja sobre BPSK, pues para la misma tasa de bits en un ambiente de ruido con una E_b/N_0 fija, utiliza solo la mitad del ancho de banda que requiere BPSK.

En general, la modulación multifásica representa n códigos binarios mediante 2 fases. Sin embargo, como los márgenes que deben preverse para el ruido o la interferencia se tornan mayores con cada aumento del número de fases, los sistemas PSK de orden superior (de más de cuatro fases) exigen potencias mucho mayores que los sistemas de 2 ó 4 fases para obtener la misma calidad de funcionamiento. Por tanto, las técnicas actuales solo permiten disponer en la práctica de la modulación bifásica y cuadrifásica. En la mayor parte de las aplicaciones, la modulación cuadrifásica QPSK constituye la mejor solución de transacción entre las consideraciones de potencia y de ancho de banda. Mediante una elección apropiada de los filtros de los modems, las señales PSK pueden transmitirse con muy poca degradación, incluso en un canal de satélite no lineal.

La calidad de transmisión de los sistemas PSK se evalúa por la proporción de bits erróneos, los cuales son causados por el ruido térmico, la interferencia entre símbolos y la fluctuación de fase en la recuperación de la portadora y de la temporización de los bits, etc.

Existe una técnica que combina M-ASK y M-PSK llamada Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM) y es un método de modulación híbrido. Así, al hacer variar la amplitud y la fase simultáneamente, puede aumentarse considerablemente la capacidad de transmisión de información por unidad de ancho de banda. La señal moduladora de entrada se aplica a un espacio vectorial bidimensional representado por la amplitud y la fase de la onda portadora según muestra la figura 3.3:

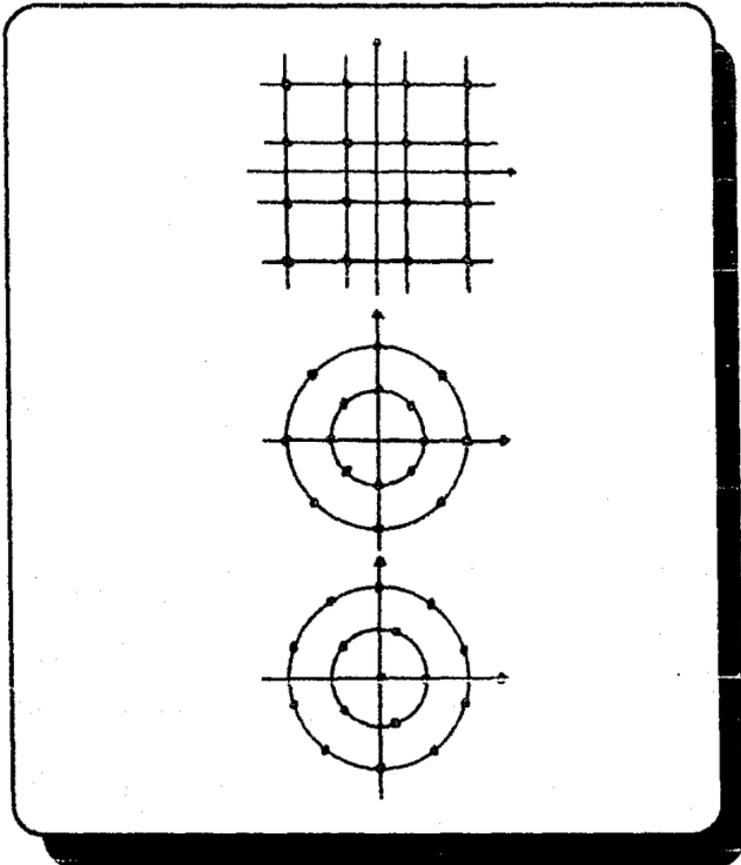


Figura 3.3. Ejemplos correspondientes a las técnicas de modulación en amplitud y fase de 16 estados.

En QAM la mayor eficiencia en ancho de banda se obtiene a costa de un gran aumento de la relación E_b/N_0 (energía por bit sobre densidad espectral de ruido), y para emplear dicha modulación es necesario mayor linealidad de los amplificadores de potencia y mayor complejidad en los modems.

Así pues, dependiendo del tipo de modulación utilizada y del rango de error, se tendrá un cierto valor de E_b/N_0 (energía por bit/densidad espectral de ruido). En este sentido es posible apoyarnos en el teorema de codificación de Shannon, el cual establece la existencia de códigos que permiten llevar a cabo la comunicación únicamente si el rango de información transmitida es menor que la máxima capacidad del canal. Esto es así en virtud de que existe un valor mínimo de E_b/N_0 denominado límite de Shannon, el cual es próximo al valor de $\ln(2) = 0.693$ (-1.59 dB). Debe hacerse notar que como la potencia es limitada en el satélite se pretende que los sistemas de comunicación operen con una relación $E_b/N_0 = -1.59$ dB.

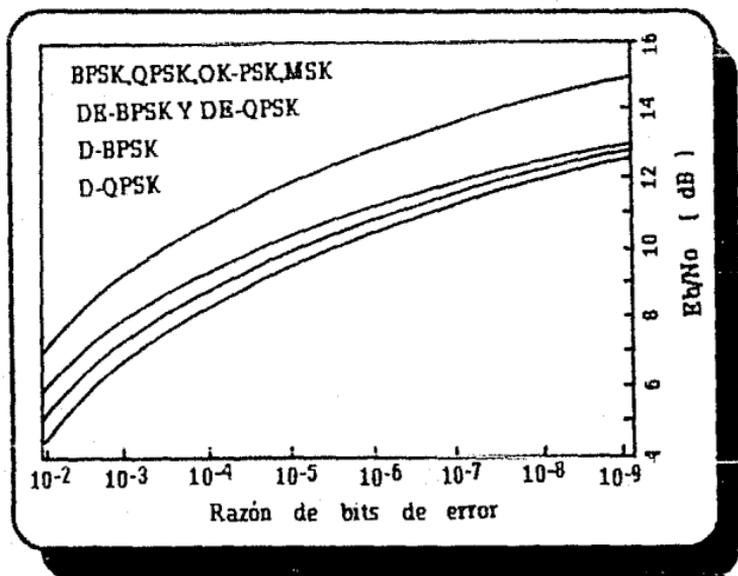


Figura 3.4. Curvas ideales de la relación entre la tasa de bits erróneos y la energía por bit/densidad espectral de ruido para diferentes esquemas de modulación.

En la transmisión se codifica en la 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; los bits de control se calculan a partir de los de información. Es importante la relación de código $R=K/N$ porque muestra la razón entre el número de bits de información (K) y el número total de bits transmitidos (N); cabe indicar que por otra parte la velocidad binaria de la señal codificada será mayor que la velocidad binaria de la información según un factor $1/R$ y esto, para una modulación determinada, aumenta la banda ocupada por la señal modulada transmitida.

Durante la recepción se decodifica después de demodular y la redundancia ofrecida por los bits de control es empleada para detectar y corregir ciertas configuraciones de error. Una distancia mínima, d_{min} , da la capacidad de corrección o detección que proporciona el código; así pues, un código de distancia d puede aplicarse para corregir cualquier configuración de t errores tal que $d > 2t + 1$ pudiendo detectar cualquier configuración de $d-1$ errores.

De acuerdo a lo anterior es conveniente elegir el código cuya distancia mínima sea mayor para una determinada relación R porque, dicho sea de paso, se obtiene una mayor capacidad de corrección disminuyendo la relación R ya que aumenta la redundancia. Sin embargo al trazar la curva de la proporción de errores, después de la decodificación en función de la relación E_b/N_0 (energía por bit/densidad espectral del ruido), ésta última debe corregirse por un factor en decibelios, $10\log(1/R)$, para tener en cuenta el hecho de que los bits de control no transmiten información útil alguna.

Al utilizar las codificaciones antes mencionadas es posible reducir la proporción de errores, por ejemplo, de 10^{-4} antes de la codificación a 10^{-5} después de la decodificación, o bien tener una ganancia de 4 (dB) en una proporción de errores de 10^{-5} sobre la base de la diferencia en decibelios entre las curvas de la proporción de errores en función de E_b/N_0 sin codificación. En la tabla 3.1 se muestra la forma en que pueden agruparse los códigos.

La codificación y la modulación están estrechamente ligadas y, particularmente, el uso de la decodificación por decisión flexible, o el tratamiento en varios niveles, a la salida del demodulador, de muestras analógicas o cuantificadas proporciona, con ciertos algoritmos (Viterbi, secuencial), una ganancia adicional de 2 decibelios. En la demodulación

CODIGOS PARA CORRIGIR ERRORES	
CODIGOS DE BLOQUE	CODIGOS CONVOLUCIONALES
Hamming, Golay Reed-Salomon	Autoortogonales
Base-Chaudhuri -Hacquenghens (BCH)	Con algoritmos de Viterbi.

tabla 3.1 Códigos para corregir errores.

coherente la correlación de los errores a la salida del demodulador también desempeña un papel importante en la elección del código y de las posiciones respectivas del codificador de corrección y del decodificador de transiciones. Las técnicas de decodificación para los códigos de bloque y convolucionales se exponen en la tabla 3.2.

Son múltiples los parámetros que interactúan entre sí cuando se diseña un sistema de codificación, como son: Relación señal a ruido (S/N) en recepción, proporción de errores aceptable, estructura de los errores, ancho de banda disponible, velocidad binaria de transmisión, tipos de acceso, modulación, demodulación y sincronización y complejidad aceptable. En conjunto, estos parámetros determinan la elección del tipo de código (bloque o convolucional).

Cabe hacer notar que el sistema ARQ presenta un singular problema que es el de disponer de un canal de retorno para las peticiones de retransmisión. La dificultad no es la selección del código sino la definición de protocolos para la retransmisión.

TECNICAS DE DECODIFICACION	
CODIGOS BLOQUE	<ul style="list-style-type: none"> -Decodificación por tabla. -Decodificación Meggit por lógica combinacional (Hamming, Golay y ciertos códigos BCM) -Decodificación algebraica por solución de ecuaciones de grupos finitos (códigos BCH, Reed-Salomon)
CODIGOS CONVOLUCIONALES	<ul style="list-style-type: none"> -Decodificación de umbral (códigos autoortogonales). -Decodificación Viterbi. -Decodificación secuencial. *pueden aplicarse dos o más códigos en serie.

tabla 3.2 Técnicas de decodificación

TECNICAS DE ACCESO MULTIPLE

Al sistema mediante el cual un gran número de estaciones terrenas pueden acceder a un satélite común, y establecer enlaces independientes de comunicación al mismo tiempo, se le denomina sistema de acceso múltiple.

Fundamentalmente son tres los tipos de acceso múltiple, a saber:

- TDMA: Acceso múltiple por distribución en el tiempo.

- FDMA: Acceso múltiple por distribución en la frecuencia.
- CDMA: Acceso múltiple por diferenciación de código.

Por otra parte, el acceso múltiple presenta dos modalidades desde el punto de vista de utilización de un circuito, que son:

a) Acceso múltiple con asignación previa de canales entre estaciones, en el cual se asignan canales permanentemente para su uso exclusivo.

b) Acceso múltiple de asignación por demanda (DAMA): Aquí se asignan los circuitos a un par de estaciones, en el momento que éstas lo soliciten, de entre un grupo de circuitos comunes disponibles.

Generalmente, al inicio de la explotación de un sistema de satélites se utiliza la primera modalidad; sin embargo, al irse saturando el segmento espacial se hace necesario utilizar la segunda modalidad por lo que, de alguna manera, podríamos decir que una sucede a la otra al avanzar la explotación de los sistemas.

Ahora bien, cuando se canaliza un gran número de portadoras dentro de un mismo transpondedor, como en el modo de acceso múltiple, se presenta un problema de intermodulación debido a la no linealidad del tubo de ondas progresivas (TWT). A fin de minimizar la influencia de los productos de intermodulación se debe operar el tubo en su región lineal, disminuyendo su potencia utilizable, y se podrían considerar técnicas de dispersión de energía de las portadoras. Si se desea eliminar completamente el problema de intermodulación, se debería utilizar un sistema de acceso múltiple por distribución en el tiempo, el cual cursa solo una portadora a la vez en el transpondedor.

Así pues, los requerimientos del usuario determinan el tipo de señales que se manejan mediante las diferentes técnicas, pudiendo abarcar desde enlaces multicanal de alta o media capacidad entre centros importantes que interconectan con las redes terrenas, redes privadas de baja calidad entre grupos gubernamentales o industriales, hasta enlaces de poco tráfico SCPC entre dos localidades. El carácter del servicio también puede variar desde los servicios telefónicos convencionales hasta servicios especializados que complementan a la red terrena y que satisfagan las necesidades específicas de los usuarios.

ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISION DE FRECUENCIA (FDMA).

El FDMA es una técnica analógica y es del tipo de acceso más utilizado, ya que fue de los primeros empleados en las comunicaciones vía satélite en virtud de que las técnicas y equipos se encontraban ampliamente probados en los sistemas de microondas terrestres. FDMA permite emplear en común los recursos que proporcionan los satélites mediante la asignación de frecuencias diferentes a las distintas estaciones terrenas. Este sistema es utilizado actualmente para las comunicaciones internacionales por el sistema INTELSAT. Por otra parte, el acceso por división de frecuencia tiende a ser el más barato en términos del segmento terrestre, sin embargo menos flexible por división en el tiempo. No obstante lo anterior, FDMA presenta dos inconvenientes fundamentales que son:

i) El transpondedor debe amplificar muchas portadoras simultáneamente, lo cual afecta en la generación de productos de intermodulación. Por lo tanto, solo puede emplearse una parte de la potencia disponible a fin de reducir las componentes de intermodulación.

ii) Los canales enviados bajo la técnica FDMA no pueden ser empleados en el modo de asignación por demanda.

En un sistema FDM convencional, en un enlace terrestre, los canales telefónicos multiplexados son acomodados por encima de los 60 (kHz) de la frecuencia de banda base. Sin embargo, en un sistema por satélite, un grupo básico se coloca en la banda de 12 a 60 (kHz), a fin de emplear en forma más eficiente del ancho de banda de las frecuencias de banda base.

FDMA se asocia, generalmente, al multiplexaje por división de frecuencias (FDM), y a la modulación de frecuencia (FM) de la portadora, así como al sistema de portadora única por canal (SCPC) como caso particular.

En el sistema múltiple FDM por satélite debido a la característica no lineal de la densidad espectral de ruido después de la demodulación, se presenta una disparidad en la calidad de los canales ubicados en la parte alta de la banda de frecuencias con respecto a los de la parte inferior. Para compensar este desequilibrio, en la estación transmisora la modulación en frecuencia se hace a través de una red filtrante, llamada pre-énfasis (o preacentuación), la cual favorece las componentes espectrales de frecuencia elevada. En la estación receptora las señales telefónicas

demoduladas se pasan por una red de de-énfasis (desacentuación) que tiene una característica inversa a fin de ecualizar los niveles de todos los canales. Mediante esta técnica de preacentuación-desacentuación es posible mejorar la relación señal a ruido de las señales telefónicas en el orden de 4 (dB).

A fin de realizar el acceso múltiple con FDM-FM, las estaciones terrenas emplean sus respectivas frecuencias portadoras individuales multiplexadas por sus canales telefónicos. En el caso de que accesen en un mismo transpondedor muchas estaciones terrenas, los productos de intermodulación aumentan; provocando problemas en las señales. Suponiendo que existen n estaciones terrenas y que cada estación emplea portadoras individuales para transmitir a todas sus estaciones destinatarias las estaciones respectivas podrían transmitir $n-1$ portadoras y el transpondedor del satélite tendrá que amplificar $n(n-1)$ portadoras, generando problemas de intermodulación tanto en el TWT del satélite como en el amplificador de la estación terrena.

A fin de mejorar esta situación se emplea un sistema de portadoras multi-destino, en el cual una portadora agrupa todos los canales telefónicos transmitidos desde una estación terrena al satélite. En cada una de las estaciones receptoras, después de demodular las señales, solo se toman los canales que están destinados para ellas. En consecuencia se elimina en gran parte la intermodulación tanto en las estaciones terrenas como en el satélite.

Sin embargo, habrá que considerar que el número de canales por estación es diferente, por lo que la potencia de las portadoras no es la misma y una portadora pequeña (pocos canales telefónicos) severará más afectada por los productos de intermodulación. Para minimizar esto habrá que limitar el número de canales por portadora. Por ejemplo, en el sistema INTELSAT IV el número máximo de canales por portadora fue limitado a 1872 y el mínimo a 24, tomando en cuenta el uso eficiente de la potencia del satélite.

Por otra parte, para las bandas de guarda entre frecuencias adyacentes deben tenerse en cuenta las derivas de frecuencia de los osciladores del satélite y de la estación terrena. Para los transmisores de muy baja velocidad binaria también pueden ser significativos los desplazamientos Doppler causados por los movimientos del satélite. El concepto de FDMA se ilustra en la figura 3.5

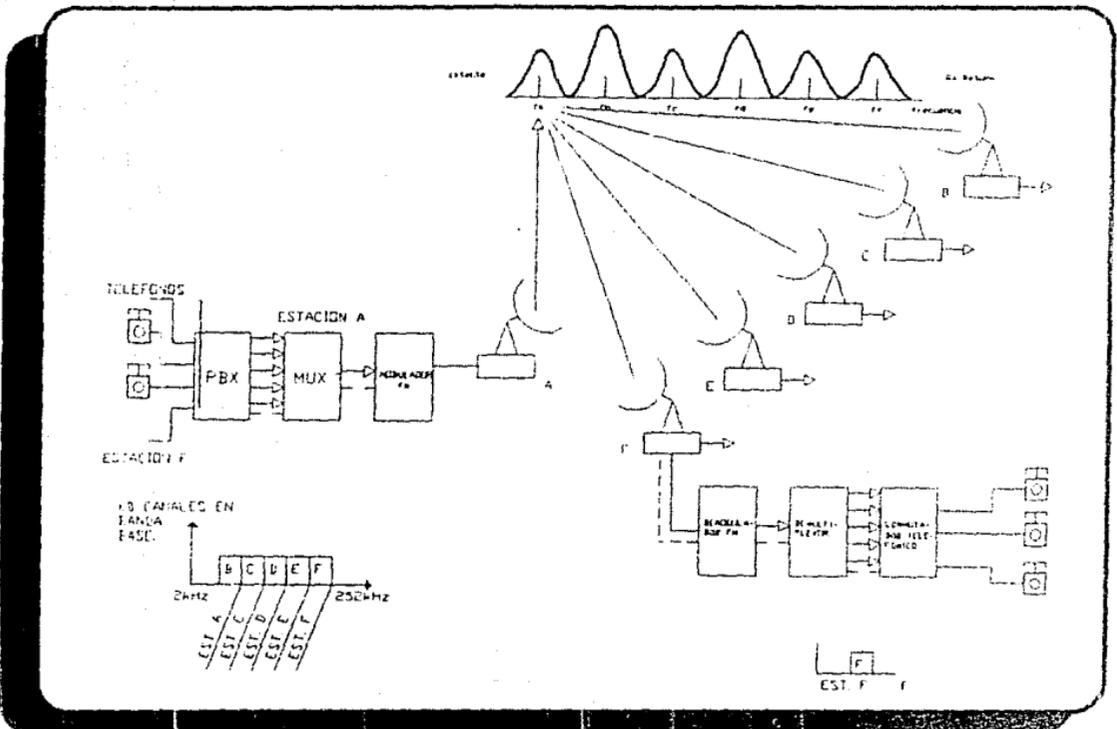


Figura 3.5. Distribución multicanal para SSF, FDM, FDMA.

S.C.P.C. (Canal Único por portadora).

Esta técnica es un caso particular del acceso múltiple por distribución de frecuencia y cada una de las portadoras lleva un solo canal telefónico. SCPC puede ser analógico o digital ya que los canales de voz o datos son manejados individualmente. Así pues, el canal único por portadora permite aprovechar plenamente las posibilidades de acceso múltiple al satélite, puesto que cada canal accesa individualmente al satélite una banda de frecuencias mínima (del orden de 45 kHz). Este sistema encuentra su mejor aplicación en los casos de tráfico reducido; es decir, pocos canales por estación terrena. Esto es así en virtud de que la portadora es en general activada por la voz, lo que permite un ahorro de energía de hasta el 60% en el transpondedor del satélite.

Las técnicas de modulación utilizadas en los sistemas SCPC típicos son la modulación de frecuencia compandida (CFM), la modulación delta (DM) con PSK de la portadora de radiofrecuencia, o PCM (modulación por codificación de pulsos) con PSK de la portadora RF.

Los sistemas SCPC-CFM tienen un ancho de banda RF de 22.5 (kHz), 30(kHz) por portadora; los sistemas SCPC-DM-PSK transmiten a 32 (kbits/s) en un ancho de banda de 22.5 (kHz) y los sistemas SCPC-PCM-PSK usan una velocidad binaria de 64 (kbits/s) en un ancho de banda de RF de 45 (kHz). Un transpondedor de 36 (kHz) podrá emplearse, por tanto, para establecer de 800 a 1000 canales SCPC simultáneos. La figura 3.6 muestra la distribución de un transpondedor para la técnica SCPC.

En SCPC puede hacerse uso de las dos modalidades de acceso múltiple; es decir, sistema de asignación previa y sistema de asignación por demanda. La mayoría de los sistemas en explotación son del tipo de asignación previa; el sistema SPADE, establecido en el marco de INTELSAT, es de asignación por demanda. El equipo SPADE (single Channel per Carrier-Pulse Code Modulation Multiple Acces-Demand Assignment Equipment) nació de la combinación de un sistema SCPC con modulación digital y un órgano de gestión, y mediante él es posible tener alta flexibilidad en la utilización de los canales.

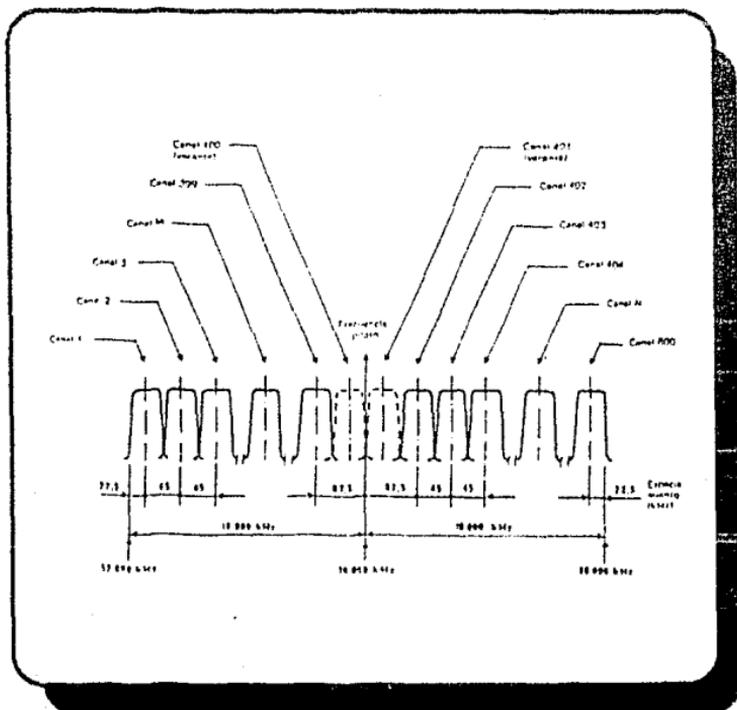


Figura 3.6. Plan de frecuencias SCPC típico para la explotación de un transceptor completo.

TDM-FDM-FDMA.

Usando técnicas digitales en FDMA se incrementa notablemente la capacidad, en comparación a la modulación de frecuencia, evitando, además, los problemas de transición tan difíciles como los que se presentan en la sustitución del FDMA por TDMA. Por otra parte, a efecto de optimizar el balance del enlace y utilizar de mejor modo el espectro, es posible emplear un código de corrección de errores en recepción. Existe toda una variedad de códigos de este tipo que suelen utilizarse para disminuir las exigencias en los parámetros de los balances del enlace (admitir estaciones terrenas más pequeñas, por ejemplo) o para disminuir la

proporción de bits erróneos en algún enlace. De esta suerte, gracias a la codificación y a la concentración digital de las conversaciones, es posible que cada repetidor alcance una capacidad cercana al doble de la proporcionada por FDMA-FM.

ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISION EN EL TIEMPO. (TDMA).

El sistema TDMA es una técnica digital de acceso múltiple mediante la cual el satélite recibe las transmisiones de diferentes estaciones terrenas en intervalos de tiempo separados, denominados ráfagas, entre los que no hay superposición y en los que se incluye la información. El concepto básico de TDMA se ilustra con la figura 3.7.

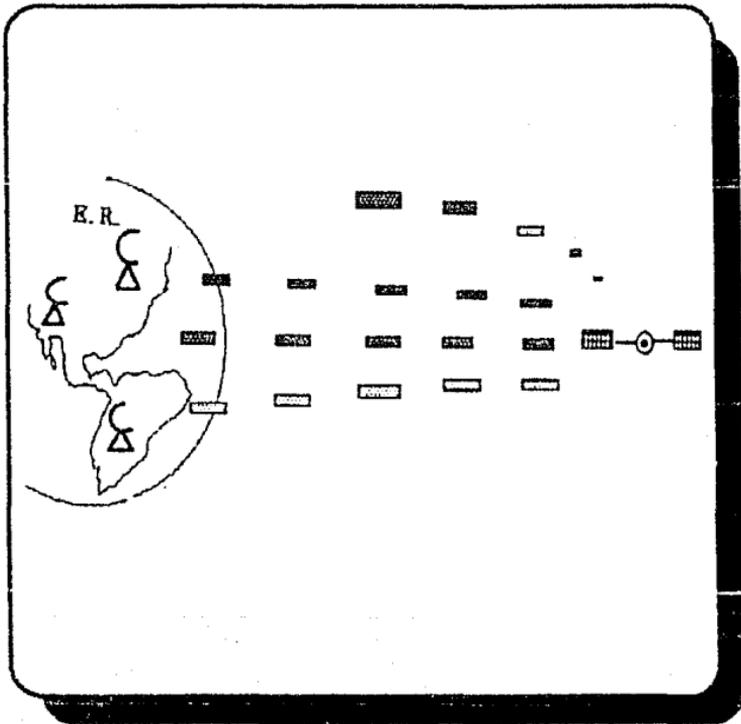


Figura 3.7. Concepto básico del acceso múltiple por división de tiempo, TDMA.

En la técnica de Acceso Múltiple por División del Tiempo cada estación transmite sus datos sucesivamente, utilizando la misma frecuencia radioeléctrica. En virtud de lo anterior, un aspecto fundamental en TDMA es la sincronización que debe existir durante la transmisión y la recepción ya que de lo contrario habría traslape entre las señales.

Por otra parte, al hacer uso de una sola portadora, se eliminan los productos de intermodulación tan indeseables (como sucede en FDMA) en el transpondedor, siendo posible utilizar más eficientemente la energía disponible en el satélite. Aun más, en TDMA la capacidad no disminuye notablemente con el aumento del número de las estaciones que tienen acceso, y si se aplica la técnica de interpolación digital de conversaciones se puede duplicar la capacidad de transmisión.

En una red TDMA es fácil de realizar el crecimiento del número de estaciones que accesan al satélite mediante cambios en la longitud y posición de las ráfagas.

En la figura 3.7 es posible observar que en TDMA se utilizan estaciones de referencia para la adquisición y sincronización de las ráfagas de tráfico, y tales estaciones están dotadas de suficiente redundancia para proporcionar un alto grado de fiabilidad.

Por otra parte, cabe mencionar que la técnica de TDMA presenta dos variedades que son: TDMA banda ancha y TDMA banda angosta. En la primer categoría la señal portadora ocupa la totalidad del ancho de banda del transpondedor. En la segunda variedad solo se ocupa una fracción del ancho de banda. El concepto TDMA banda angosta es ilustrado en la figura 3.8

Aquí, un único transpondedor puede ser empleado para proveer múltiples servicios (por ejemplo: Video SCPC y TDMA) en una configuración FDMA. Naturalmente ésta aplicación no goza de la ventaja de no intermodulación, propia de la portadora única.

La técnica TDMA banda angosta es utilizada en pequeñas redes por corporaciones de comunicaciones para servicio regional. Esta aplicación posee la flexibilidad e interconectividad provista por TDMA, y presenta gran adaptabilidad para transmisión digital. Tasas de datos para este tipo de sistemas son típicos en el rango de 1.544 (Mbps) a 6.312 (Mbps). Esto contrasta con TDMA banda ancha operando a 60 (Mbps) en un transpondedor de 36 (MHz) ó 120 (Mbps) en un transpondedor de 72 (MHz).

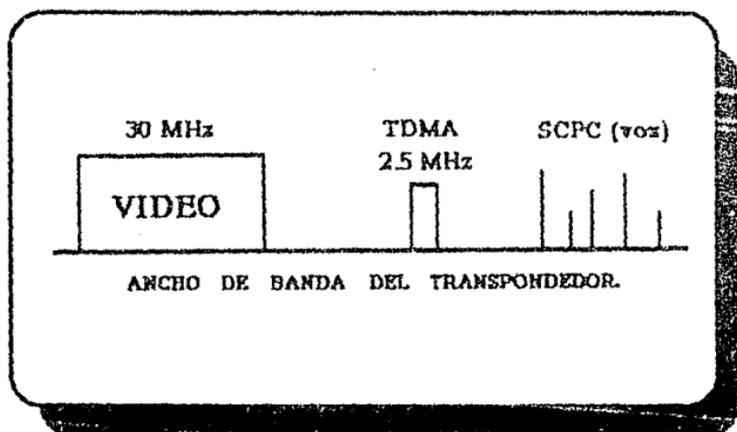


Figura 3.8. TDMA banda angosta en un transpondedor organizado para múltiples servicios.

ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISION DE CODIGO (CDMA).

En ésta técnica de acceso las señales utilizan toda la banda del repetidor simultáneamente por lo que también recibe el nombre de acceso múltiple por ensanchamiento de espectro. En este modo de transmisión también se asigna un código característico a cada señal transmitida al satélite de tal forma que, en la recepción, la estación también reconoce por su código la señal que le está destinada de entre todas las señales que se envían desde el satélite. A fin de poder identificar la señal de interés entre varias, es común utilizar técnicas de correlación para tal efecto.

Originalmente los sistemas CDMA tuvieron aplicaciones militares pero ya han hallado inquietudes comerciales ya que presentan ciertas características como son: no es necesaria la coordinación entre los transmisores; no es necesario controlar la asignación de canales, de manera que si aumenta la carga en el transpondedor solo se produce una degradación en la calidad de la transmisión (relación señal a ruido); al ensanchar el espectro, la densidad espectral de cada señal transmitida al satélite es muy baja pudiendose utilizar solamente velocidades binarias de información relativamente reducidas; CDMA ofrece automáticamente cierta protección de secreto de las comunicaciones gracias a la

codificación; hay protección contra las fuentes de interferencia de banda estrecha; y, finalmente, CDMA permite superar los efectos de la propagación por trayectos múltiples.

Sin embargo, CDMA presenta un gran inconveniente que es la reducida eficiencia en la utilización del espectro. Con esta técnica, solo para comunicación de datos de baja velocidad binaria es en donde se tienen amplias perspectivas comerciales.

Existe una variedad de técnicas CDMA, pero la secuencia directa (SD) o pseudoruido (SR) y la de saltos de frecuencia (SF) son las dos más ampliamente utilizadas.

Para diseñar un sistema CDMA se plantean dos problemas: La selección de 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 adquisición 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.

COMPARACION DE LAS TECNICAS DE ACCESO MULTIPLE.

La amplia variedad de técnicas de acceso múltiple provee gran flexibilidad en redes de satélites. La tabla 3.3 es un sumario de las características de los sistemas de acceso múltiple comentados hasta ahora.

Estos sistemas de acceso múltiple proveen de ciertas particularidades al sistema a diseñar, y cada técnica parece aplicarse mejor a su caso particular de tipo de red. Por ejemplo: SCPC es una técnica que opera bien en redes con amplio número de usuarios con una densidad de tráfico relativamente pequeña. SCPC es un sistema que provee acceso múltiple a nivel de canal individual y de este modo provee al pequeño usuario los beneficios del acceso múltiple. MCPC opera eficientemente para pocas portadoras; es decir, limita la capacidad de acceso múltiple pero, en contraparte, provee un amplio número de canales por transpondedor.

Características	FDMA		TDMA	CDMA
	SCPC	MCPC		
Transmisión	Análogica o digital	Análogica o digital	Digital	Digital
Multiplexaje	No	FDM o TDM	TDM	TDM
Modulación	FM o PSK (continua o activada por voz)	FM O PSK	PSK alta velocidad, modo ráfaga	AM o PSK codificación fragmentada
Ancho de banda de la portadora	0.7x la tasa de bits	Depende de plan de frecuencia	Transpondedor completo	Transpondedor completo
Capacidad (por MHz de ancho de banda por transponder)	22 canales solo voz	16 a 25 canales tipico	28 canales	
Aplicación	Muchas estaciones con bajo tráfico	Enlace punto a punto mucho tráfico.	Número intermedio de estaciones. Tráfico moderado.	cuando son muy sensibles a la interferencia.

tabla 3.3. Comparación de las diferentes técnicas de acceso

De esta forma, al incrementar el número de portadoras en MCPC la capacidad del sistema se reduce correspondientemente. Sin embargo TDMA ofrece un buen compromiso para aquellas redes con un número intermedio de estaciones (quizas 15 ó 20) y moderado tráfico en cada estación. Aplicaciones de TDMA son fomentadas con mucho más rapidez que las otras técnicas en las modernas comunicaciones satelitales. La figura 3.9 es un diagrama de la capacidad por megahertz del ancho de banda del transpondedor contra el número de accesantes o estaciones terrenas. En ella se ilustra la capacidad relativa de cada sistema de acceso múltiple dependiendo del tamaño de la red expresada en términos del número de usuarios. Notar que para gran número de accesantes TDMA y SCPC son más convenientes.

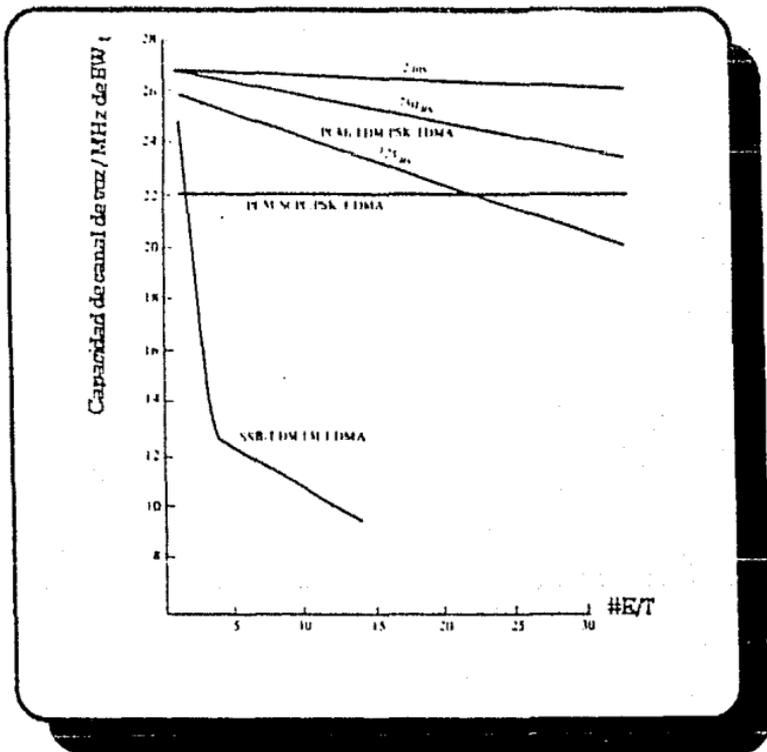


Figura 3.9. Relación entre la capacidad del transpondedor y el número de E/T, dependiendo de la técnica de acceso.

MODULACION Y TECNICAS DE ACCESO EN EL SISTEMA DE SATELITES MORELOS.

El Sistema de Satélites Morelos (SSM) utiliza, para los enlaces de telefonía troncal, de mediana y alta capacidad, la técnica FDM/FM con portadoras que varían entre 432 y 1092 canales telefónicos. Para enlaces de baja capacidad se utiliza la técnica SCPC/FM; en particular para redes del orden de 24 canales telefónicos.

En los enlaces de radio se usa la técnica SCPC/FM, pudiéndose transmitir canales de radio de 7.5 y 15 (kHz). Para FM estereo se utilizan dos canales SCPC. Para la televisión se utiliza la técnica tradicional FM, pudiéndose transmitir una señal de televisión a transpondedor completo de 36 (MHz) o a medio transpondedor (18 MHz) de acuerdo a la calidad deseada.

La transmisión de datos se realiza a través de canales digitales SCPC a bajas y altas velocidades, por ejemplo 4800 (bps) o bien 64, 128, 256 (kbps), etc.

También se utiliza la técnica TDM/TDMA para diferentes velocidades con portadoras de 512 y 256 (kbps). Para el caso unidireccional, se utiliza la técnica CDMA.

**DESCRIPCION DE
LAS REDES
ESTUDIADAS**

INTRODUCCION

El contenido de este capítulo versará sobre aspectos técnicos de algunas de las redes privadas existentes en México. Con esta idea, primeramente se aborda y se explica lo que son las tres configuraciones típicas ; es decir, la configuración Malla, Estrella, y Punto a Punto (P.A.P.). Más adelante se muestra una relación actualizada de las redes privadas nacionales para transmisión de voz y datos vía satélite y, además, se indica en cuales se apoyó esta tesis y por qué fue así. Posteriormente se hace una descripción de cada una de ellas indicando sus puntos de enlace, el diámetro de sus antenas, el número de estaciones terrenas y algunas otras características de cada caso.

En algunas de las descripciones se incluirá un diagrama general de la red en donde se muestre la arquitectura del sistema satelital que posee. Así mismo, pero solo en algunos casos, se incluirá un listado de los parámetros necesarios para calcular un enlace típico de algunos de los sistemas en particular mostrando, además, los resultados obtenidos por el propietario y bajo los cuales opera la red actualmente. Cabe hacer mención que los listados mostrados serán retomados para un análisis en el capítulo V.

Finalmente, se anexa una tabla que condensa los aspectos más relevantes de cada una de los sistemas con una disposición tal que es posible ver semejanzas y diferencias entre las distintas redes atendidas.

TOPOLOGIA

A efecto de que la información expuesta más adelante sea comprensible, explicaremos ahora lo que es una configuración Malla, Estrella y Punto a Punto (P.A.P.).

En la configuración malla las estaciones terrenas pueden comunicarse directamente entre ellas sin necesidad que la señal pase por la estación terrena maestra. Supongase una red con estaciones terrenas A, B, C, D, E, y F, en configuración Malla, en la cual se requiere comunicar la estación B con la D, siendo A la estación maestra; la comunicación se llevará a cabo como muestra la figura 4.1.

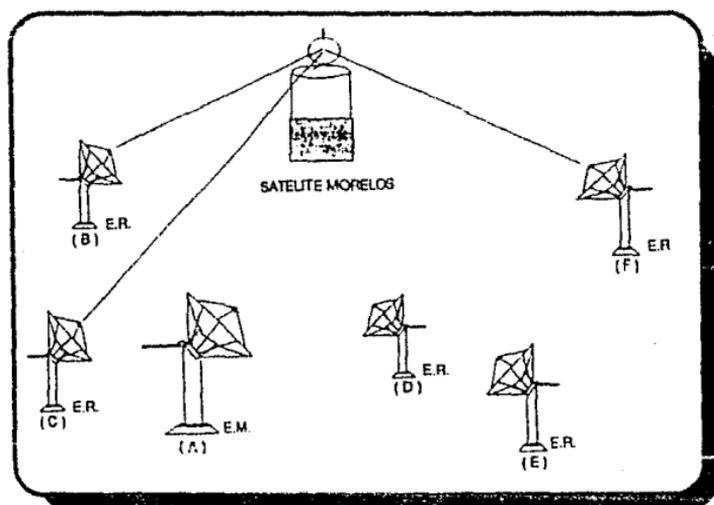


Figura 4.1 Comunicación en una red tipo Malla

Por lo que atañe a la configuración estrella, para que dos estaciones remotas se puedan comunicar, es necesario que en el viaje de la señal la estación maestra siempre esté presente. Si consideramos nuevamente la red con estaciones A, B, C, D, E, y F, pero ahora en configuración estrella, la comunicación de la estación remota B con la D se llevaría a cabo según muestra la figura 4.2.

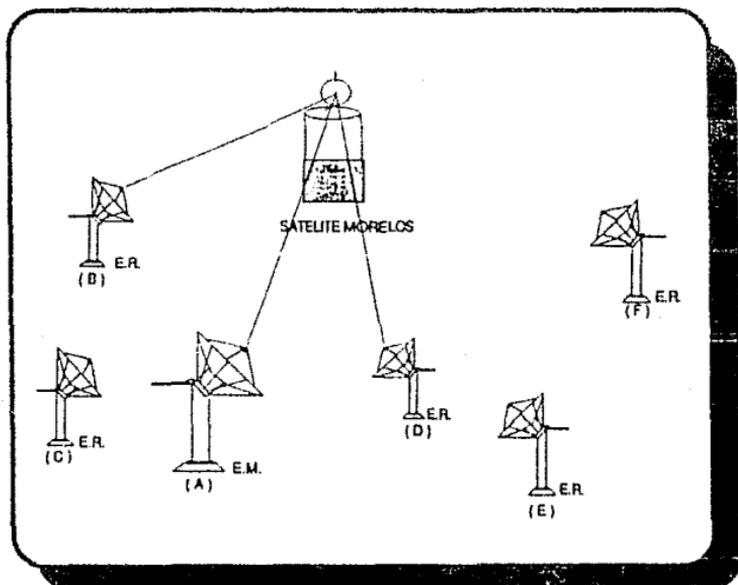


Figura 4.2 Comunicación en una red tipo Estrella

En una configuración Punto a Punto (P.A.P.) cada una de las estaciones terrenas de la red puede establecer comunicación con solo una de las otras estaciones terrenas. No obstante, es común la presencia de una estación terrena principal hacia la cual dirigen su comunicación las estaciones restantes. Considerando nuevamente las estaciones A, B, C, D, E, y F, ahora en configuración P.A.P., los enlaces quedarían como se indica en la figura 4.3 siendo A la estación principal.

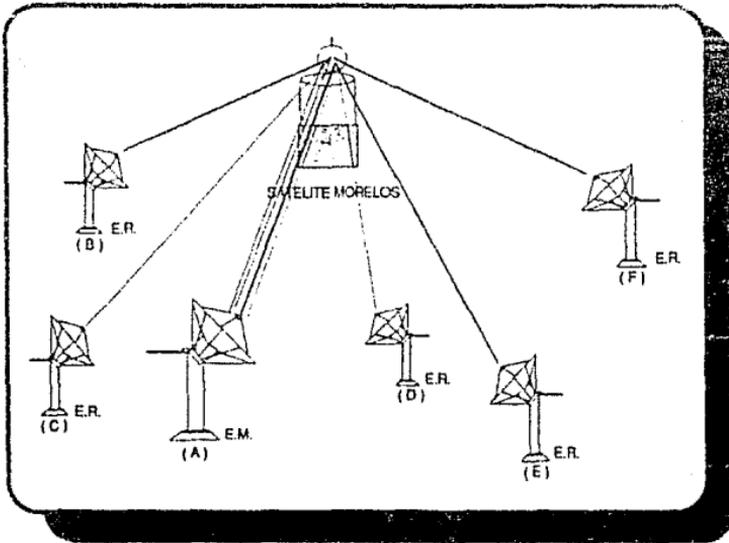


Figura 4.3 Comunicación en una red Punto a Punto

En una configuración P.A.P. como la anterior se tienen los enlaces B - A, C - A, D - A, E - A, y F - A, pero se hace notar que no es posible la comunicación entre las estaciones B y la C o la D con la E, por mencionar dos ejemplos.

REDES PRIVADAS EN MEXICO.

El siguiente listado es una relación de las redes satelitales privadas que ya estaban en operación hasta el mes de febrero de 1989.

Redes Operando en Banda Ku

Usuario	Número de Portadoras Asignadas	Tipo de Red	Número de Estaciones Terrenas
I.T.E.S.M.	52 X 54	Estrella	26
CHRYSLER.	2 X 64	P.A.P.	2
BANCOMER.	21 X 64	Estrella	54
CASA DE BOLSA VECTOR.	4 X 128	P.A.P.	3
OPERADORA DE BOLSA.	2 X 64	P.A.P.	2
BANAMEX.	22 X 128	Estrella	51
	24 X 64		
EL NACIONAL	1 X 2048	Estrella	6
INVERLAT.	11 X 64	Estrella	30
UNAM.	6 X 64	Malla	3
BANCO INTER-NACIONAL.	11 X 64	Estrella	18
	29 X 19.2		
CASA DE BOLSA MULTIVALORES.	4 X 128	P.A.P.	3
SEGUROS AMERICANA.	8 X 64	P.A.P.	8
CEMEX.	22 X 64	Estrella	13
PROBURSA.	14 X 64	Estrella	23
TELENALES.	22 X 64	Malla	9
EDITORIA EL SOL.	4 X 128	Estrella	3
	2 X 64		
CASA DE BOLSA INVERMEX.	8 X 128	Estrella	5
VALORES FINANCIEROS.	6 X 256	Estrella	4
CASA DE BOLSA ARKA	2 X 128	P.A.P.	2

Usuario	Número de Portadoras Asignadas	Tipo de Red	Número de Estaciones Terrenas
TAMSA	2 X 64	P.A.P	2
S. COMERCIALES			
BENAVIDES.	4 X 64	Estrella	3
MEXHON.	2 X 64	P.A.P.	2
REDSAT.	2 X 128	P.A.P.	2
INDUSTRIAS	2 X 64	Estrella	4
AXA	4 X 128		
BANCA SERFIN.	8 X 128	Estrella	4
CEMENTOS			
CRUZ AZUL	4 X 128	P.A.P.	4
BLACK AND			
DECKER.	2 X 64	P.A.P	2
TELEVISIA.	2 X 64	P.A.P	2
EL FINANCIERO			
(SEFI).	2 X 128	P.A.P.	2
BANCO DEL			
ATLANTICO.	8 X 128	P.A.P.	8
INDUSTRIAS			
RESISTOL.	24 X 64	Estrella	13
STARS (HIT).	2 X 64	P.A.P.	2
PYOSA.	2 X 128	P.A.P.	2
SERSA.	2 X 512	P.A.P.	2
SERVICIOS IND.			
PEÑOLES	2 X 64	P.A.P.	2
T.F.I.S.	2 X 64	P.A.P.	2
PROMOCION Y			
OPERACION	4 X 128	P.A.P.	2
GRUPO CIDSA	4 X 128	P.A.P	4
CONS. LOBEIRA.	4 X 64	Estrella	3
SECRETARIA DE			
MARINA .	4 X 64	Estrella	3
CORPORATIVO			
GAMESA	6 X 64	Estrella	4

Usuario	Número de Portadoras Asignadas	Tipo de Red	Número de Estaciones Terrenas
ACCIONES BURSATILES	2 X 128	P.A.P.	2
IMPULSORA DE TECNOLOGIA	2 X 64	P.A.P.	2

Es conveniente indicar que algunos de los datos de la lista no corresponden a la realidad actual ya que algunas redes ya incrementaron el número de sus estaciones terrenas con lo que, naturalmente, puede haber variado el número de portadoras requeridas. No obstante lo anterior sí es posible distinguir cuales son las principales redes y cuales son las de menor talla. Justamente fue en razón de ésto en lo que nos apoyamos para escoger a las redes más representativas del conjunto de 44 antes listadas, tratando de tomar las tres variedades de configuración (Malla, Estrella y Punto a Punto) para lograr así un estudio más completo. De acuerdo a esto las redes elegidas fueron: Instituto Tecnológico de Monterrey (I.T.E.S.M.), Chrysler, Banamex, Inverlat, Banco del Atlántico, Casa de Bolsa Multivalores, Probursa, Telenales, Casa de Bolsa Abaco y Casa de Bolsa Arka.

Notese que en estas diez redes hay toda una variedad por lo que corresponde al número de estaciones terrenas, número de portadoras, velocidades de transmisión y configuración. Por otra parte, si bien es cierto que las redes atendidas representan tan solo más de un quinto de la totalidad, se hizo lo posible por recopilar información de algunas otras redes pero en algunos casos no pudieron atendernos y en otros se nos negó la información. Sin embargo estimamos que el estudio sí es representativo, ya que incluimos a la mayoría de "grandes usuarios". La descripción de cada una de las redes investigadas se expone a continuación:

Inverlat.

Esta casa de bolsa posee una red de comunicaciones vía satélite mediante la cual se transmiten datos, teniendo la capacidad para transmitir también señales de voz; no obstante, hasta el momento de la presente redacción todavía no operaba este servicio. En su conjunto, la red agrupa treinta estaciones terrenas remotas distribuidas a lo largo de toda la República Mexicana que se enlazan a la estación central ubicada en el Distrito Federal. El diseño de la red tiene proyectada una segunda fase en la cual se integrarán veinte estaciones remotas más.

Inverlat clasifica sus estaciones remotas en tres categorías de acuerdo al volumen de tráfico de datos que manejan; tales categorías son: nivel "A", nivel "B", y nivel "C". El número de estaciones terrenas para cada nivel es el indicado en la tabla 4.1.

Fase	Nivel de la Estación Remota			Total
	A	B	C	
I	3	11	16	30
II			20	20

tabla 4.1

Por otra parte, son tres los diámetros de antena utilizados para las diferentes estaciones; a saber: 6.4 (m), 3.6(m), y 2.4 (m).

La ubicación de las estaciones remotas, así como el nivel que ocupan, la zona hidrometeorológica en la que se encuentran, y su respectivo diámetro de antena se muestran en la tabla 4.2.

Nivel	Nombre	Zona Hidro-meteorológica	Diámetro
A	Guadalajara	PC	3.6
A	Puebla	C	3.6
A	Monterrey	NC	2.4
B	Hermosillo	NW	2.4
B	Tijuana	NW	2.4
B	Cd. Juárez	NC	2.4
B	Torreón	NC	2.4
B	Culiacán	NC	2.4
B	Aguascalientes	C	3.6
B	Querétaro	C	3.6
B	León	C	3.6
B	Toluca	C	3.6
B	Veracruz	NG	3.6
B	Mérida	Y	3.6
C	San Luis Potosí	C	2.4
C	Oaxaca	C	2.4
C	Acapulco	C	2.4
C	Mexicali	NW	2.4
C	Saltillo	NC	2.4
C	Durango	NC	2.4
C	Chihuahua	NC	3.6
C	Tampico	NG	3.6
C	Mazatlán	PC	3.6
C	Villahermosa	I	3.6
C	Cd. Obregón	NW	2.4
C	Irapuato	C	2.4
C	Morelia	C	2.4
C	Guadalajara II	PC	3.6
C	Tuxtla Gutiérrez	I	3.6
C	Irapuato	NG	3.6

tabla 4.2

Se hace notar que la estación central del D.F. es la única con 6.4 (m) de diámetro.

Las abreviaciones de las zonas hidrometeorológicas son:

NW - NOROESTE
NC - NORTE CENTRO
NG - GOLFO NORTE
PC - PACIFICO CENTRO
C - CENTRO
I - ISTMO
Y - YUCATAN

La red tiene una configuración tipo estrella y utiliza la modulación BPSK accediendo al satélite mediante la técnica TDM/TDMA. Para operar el servicio de voz harán uso de la técnica SCPC operando en modo DAMA. El número de portadoras disponibles para manejar el tráfico de la red es de 10, de las cuales 5 salen de la estación central y 5 entran teniendo, además, una señal piloto para hacer un total de 11 portadoras. La velocidad de transmisión es de 56 kbps.

Por otra parte los márgenes de confiabilidad por lluvia fueron de 99.98% para la transmisión y del 99.95% para la recepción. El código FEC utilizado fue de 1/2, mientras que la tasa de bits erróneos (BER) fue de 10^{-7} .

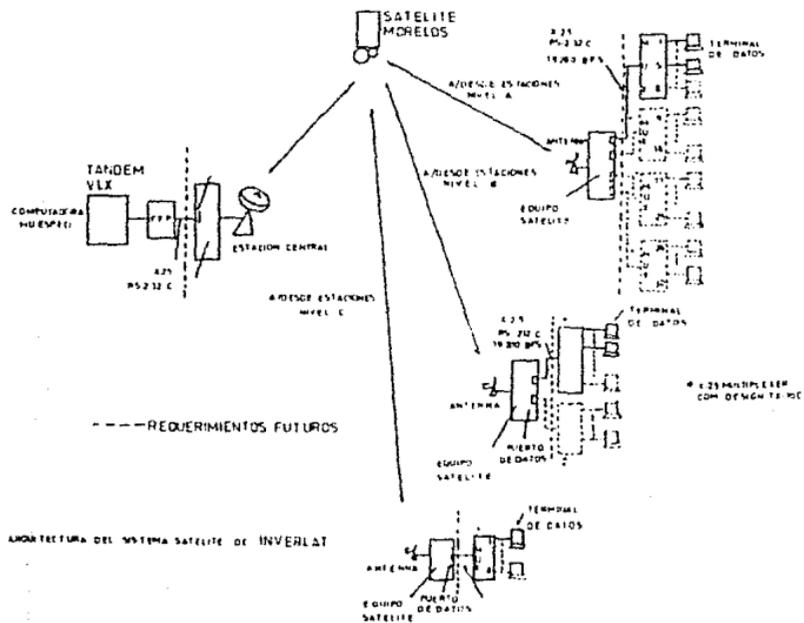
Para la segunda fase de la red, se agregarán dos portadoras de manera que la red, en su configuración final, poseerá 12 portadoras más la piloto.

Las frecuencias de operación van de 14 a 14.5 GHz en transmisión, y de 11.7 a 12.2 GHz en recepción.

Los valores de potencia requerida por portadora para cada enlace en particular oscilan entre 0.1 W a cielo despejado y 3.3 W considerando la lluvia.

Un esquema de la arquitectura satelital de Inverlat es ilustrado en la figura 4.4.

Figura 4.4. Arquitectura satelital de INVERLAT.



Un enlace típico de la red Inverlat con todos sus parámetros se muestra en la siguiente relación:

CALCULO DEL ENLACE SATELITE MORELOS I	REDSATELITAL INVERLAT	DISPONIBILIDAD:	
		Tx: 99.98 %	Rx: 99.95 %
		E/T	E/T
Diámetro de antena	m	6.40	3.60
Frecuencia de Operación	GHz	14/12	14/12
Ganancia en transmisión	dB	57.50	52.50
Ganancia en recepción	dB	56.10	50.90
Temperatura total del sistema	dBK	23.90	24.40
G / T de la E.T.	dB/K	32.20	26.50
D . F . S .	dBW/m ²	-89.70	-90.20
Ajuste de ganancia	dB	9.00	9.00
G/T del satélite	dB/K	2.00	2.40
Back-off de entrada	dB	8.00	8.00
ENLACE ASCENDENTE			
Pérdidas Atmosféricas	dB	0.10	0.10
Pérdidas en el espacio libre	dB	206.90	206.90
Pérdidas por apuntamiento	dB	0.10	0.10
Constante de Boltzman	dBj/K	-228.60	-228.60
Margen de lluvia	dB	12.30	10.20
C/No ascendente	dB-Hz	74.20	72.80
C/N ascendente	dB	23.00	22.30
ESTACION TERRENA			
P.I.R.E./ Portadora de la E/T	dB	50.70	49.10
Pérdidas por Alimentación	dB	0.00	2.50
Back-off de salida	dB	1.70	6.00
Potencia/portadora del HPA	dBW	-1.80	-5.60
Potencia/portadora del HPA	W	0.70	0.30
ENLACE DESCENDENTE			

Análisis de las Redes

Pérdidas en el espacio libre	dB	205.50	205.50
Pérdidas por apuntamiento	dB	0.40	0.10
Margen de lluvia	dB	6.20	3.30
Constante de Boltzman	dB/J/K	-228.60	-228.60
P.I.R.E. de saturación req.	dB W	47.30	46.50
P.I.R.E. de saturación en			
Transpondedor	dB W	19.50	17.40
C/No descendente	dB.Hz	74.40	66.90
C/N descendente	dB	21.00	19.60

ENLACE GLOBAL

Velocidad	kbps	5600	5600
Eb/No	dB		
C/I del transpondedor	dB	21.00	19.60
C/N requerido	dB		
C/N total	dB		

POSICIONAMIENTO DE LA ANTENA

Latitud Norte	grad
Longitud Oeste	grad
Elevación	grad
Acimut	grad
b	grad
Rango	km.

Probursta.

La red satelital de esta casa de bolsa es utilizada para transmitir datos y espera manejar canales de voz en un periodo todavia no definido. Actualmente la red está constituida por 23 estaciones terrenas (E/T) que accesan al satélite mediante la técnica TDM/TDMA. Sin embargo, cuando

se incluya el servicio de voz, dos de las 23 E/T cambiarán su técnica de acceso a la de SCPC y se integrará una estación más para tener así 3 E/T para voz. En este sentido, la ubicación de Tales E/T será: Cd. Juárez, Tijuana y una estación móvil.

La distribución de las E/T a lo largo del territorio nacional se muestra en la tabla 4.3, así como los respectivos diámetros de antena que, dicho sea de paso, son de 6.4 m para la estación central y de 3.6 m y de 2.4 m para las estaciones remotas.

LUGAR	DIAMETRO (m)
AGUASCALIENTES	2.4
BOLSA MEXICANA DE VALORES	2.4
CIUDAD JUAREZ	2.4
CHIHUAHUA	2.4
GUADALAJARA	3.6
HERMOSILLO	2.4
JALAPA	3.6
JEREZ (ZACATECAS)	2.4
LEON	2.4
MAZATLAN	3.6
MERIDA	3.6
MEXICO D.F.	6.4
MONTERREY	2.4
MORELIA	2.4
PUEBLA	2.4
QUERETARO	2.4
SAN LUIS POTOSI	2.4
TAMPICO	3.6
TOLUCA	2.4
TIJUANA	2.4
TORREON	2.4
VERACRUZ	2.4
ZACATECAS	2.4

tabla 4.3

Esta red tiene una configuración estrella y maneja una modulación

BPSK. El código FEC utilizado es de 1/2, mientras que la tasa de bits erróneos (BER) es de 10^{-7} , por otra parte, la disponibilidad considerada para la lluvia fue de 99.9%.

Para operar la red se cuenta con 14 portadoras de 56 kbps asignadas a los diferentes puntos de enlace como se indica en las tablas 4.4 y 4.5.

Portadora	Localidad de origen	Frecuencia de operación en MHz
1	México	14355.0
2	México	14355.2
3	México	14355.8
4	Monterrey	14356.2
5	Puebla	14356.6
6	San Luis Potosí	14356.8

Tabla 4.4

Ocho portadoras adicionales como sigue:

Portadora 1 y 2	Portadora 3 y 4	Portadora 5 y 6	Portadora 7 y 8
Guadalajara San Luis. P. Tijuana Cd. Juárez Hermosillo Toluca	Aguascalientes Puebla Monterrey Veracruz Zacatecas Torreón	Bolsa Mex. Chihuahua Querétaro León Mazatlán Mérida Morelia Tampico Jalapa Jerez (Zac)	Señal de Referencia

Tabla 4.5

Una relación de las potencias consumidas por portadora, para los diferentes enlaces, es mostrada en la tabla 4.6.

Enlace entre:	Potencia del HPA México D.F.		Potencia del HPA para la otra Ciudad	
	dBW	W	dBW	W
D.F. - Jalapa	-7.86	0.16	-8.97	0.13
D.F. - Aguascalientes	-11.46	0.07	-7.67	0.17
D.F. - Puebla	-7.09	0.20	-6.45	0.23
D.F. - Tijuana	-7.89	0.16	-6.21	0.24
D.F. - San Luis P.	-11.51	0.07	-7.68	0.17
D.F. - Guadalajara	-8.97	0.13	-8.96	0.13
D.F. - Monterrey	-11.34	0.07	-7.17	0.19
D.F. - Veracruz	-8.09	0.16	-6.51	0.22
D.F. - Zacatecas	-11.52	0.07	-7.71	0.17
D.F. - Torreón	-11.52	0.07	-7.44	0.18
D.F. - Chihuahua	-11.03	0.08	-7.43	0.18
D.F. - Querétaro	-8.11	0.15	-6.45	0.23
D.F. - Tampico	-7.54	0.18	-8.65	0.14
D.F. - León	-8.24	0.15	-6.64	0.22
D.F. - Morelia	-7.69	0.17	-6.03	0.23
D.F. - Bolsa Mex.	-7.57	0.17	-6.45	0.23
D.F. - Hermosillo	-8.98	0.13	-7.24	0.19
D.F. - Cd. Juárez	-9.23	0.12	-6.67	0.22
D.F. - Jerez (Zac)	-11.52	0.07	-7.71	0.17
D.F. - Toluca	-7.69	0.17	-6.45	0.23
D.F. - Mazatlán	-8.95	0.13	-9.01	0.12

Tabla 4.6

Probursa inició sus operaciones de la red satelital en junio de 1988.

Inst. Tecnológico de Monterrey.

El sistema satelital de este centro educativo está integrado por 26 estaciones terrenas, de las cuales 21 ya operan hasta el momento de esta redacción y las 5 restantes esperaban ser puestas en operación a finales del presente año (1989). Esta red maneja dos diámetros de antenas que son, 4.6 m para la estación maestra (Edo. De México) y 1.8 m para las estaciones remotas. Los lugares donde se encuentran instaladas las E/T se enlistan en la tabla 4.7.

Localización	Localización
Cd. Juárez.	Monterrey
Sonora Norte	Eugenio Garza Sada)
Guaymas	Tampico
Obregón	Hidalgo
Sinaloa	Querétaro
Mazatlán	Veracruz
Guadalajara	Irapuato
Colima	Morelos
Chihuahua	Saltillo
Laguna	Toluca
Zacatecas	Edo. de México
San Luis P.	Chiapas
León	D.F.

tabla 4.7

A diferencia de otras redes privadas, el Instituto Tecnológico de Monterrey comenzó a operar su red con los servicios de voz y datos simultáneamente; situación que difiere de las otras redes contempladas en este estudio en virtud de que gran parte de ellas no cuentan todavía con servicio de voz.

El Tecnológico de Monterrey optó por una configuración tipo estrella para su red accediendo al satélite mediante la técnica TDM/TDMA.

La técnica de modulación utilizada es BPSK y consideraron que un margen de confiabilidad por lluvia del 99.5% es suficiente para sostener su sistema eficientemente. En este sentido reportaron no tener problemas por lluvia no obstante que sus antenas son pequeñas.

El número de portadoras asignadas a ésta red es de 52 a efecto de disponer un par por cada uno de los enlaces. Las velocidades de transmisión son de 56 kbps y 64 kbps, en tanto que la capacidad de sus amplificadores de alta potencia (HPA'S) son de 2W, 4 W, y 80 W.

Contrariamente a las otras redes incluidas en este trabajo, la red del Tecnológico de Monterrey no cuenta con respaldo de microondas para el manejo de su información.

El inicio de operaciones de esta red fue en agosto de 1987.

Banamex.

La red satelital de esta institución bancaria es utilizada para transmitir voz y datos entre 51 estaciones remotas, ubicadas en el interior de la República Mexicana, y dos estaciones maestras con sede en la Ciudad de México.

El servicio de datos comenzó a operar en agosto de 1986, mientras que

el de voz se integró en diciembre de 1987. Los diámetros de las antenas en las E/T son de: 7.6 m, 4.5 m, 3.6 m, Y 1.8 m. Por otra parte, las velocidades de transmisión para los diferentes enlaces son de 64 kbps, 128kbps, 512 kbps, y 2.048 Mbps.

A continuación se muestra la tabla 4.8 que incluye las ciudades que componen la red así como su diámetro de antena respectivo y su velocidad de transmisión:

Ciudad	Antena D (m)	Velocidad kbps
México D.F. (Isabel La Católica)	7.6	2048 - 512
México D.F. (Jardines de la Montaña)	7.6	512
Monterrey	4.5	2048
Guadalajara	4.5	2048
Hermosillo	4.5	512
Veracruz	4.5	512
León	4.5	512
Morelos	4.5	512
Chihuahua	3.6	128
Cd. Juárez	3.6	128
Tampico	3.6	128
Torreón	3.6	128
Durango	3.6	128
Saltillo	3.6	128
Reynosa	3.6	128
Matamoros	1.8	64
Laredo	1.8	64
Tepic	1.8	64
Puerto Vallarta	1.8	64
Tijuana	3.6	128
Mexicali	3.6	128
Obregón	3.6	128
Nogales	3.6	128
Culiacá	3.6	128
Los Mochis	3.6	128
Mazatlán	3.6	128
La Paz	3.6	128
Guaymas	1.8	64

Ciudad	Antena D (m)	Velocidad kbps
Ensenada	1.8	64
Puebla	3.6	128
Mérida	3.6	128
Jalapa	3.6	128
Coatzacoalcos	3.6	128
Córdoba	3.6	128
Villahermosa	3.6	128
Orizaba	3.6	128
Chetumal	1.8	128
Campeche	1.8	64
Cancún	3.6	128
Morelia	3.6	128
San Luis P.	3.6	128
Aguascalientes	3.6	128
Querétaro	3.6	128
Celaya	3.6	128
Zamora	1.8	64
Irapuato	1.8	64
Toluca	3.6	128
Oaxaca	3.6	128
Acapulco	3.6	128
Pachuca	3.6	128
Tuxtla Gutiérrez	3.6	128

tabla 4.8

La red tiene una configuración tipo estrella, utiliza las técnicas de modulación BPSK y QPSK, y accesa al satélite mediante la técnica TDM/TDMA. El servicio de voz opera bajo la técnica SCPC. Por otra parte, el margen de confiabilidad por lluvia utilizado fue del 99.99% y 99.80% mientras que el código para corrección de errores FEC fue de 1/2.

Las potencias requeridas por portadora para los diferentes enlaces son diversas, no obstante la tabla 4.9 muestra algunos de esos valores.

Enlace entre:	Margen Conf. %	Pot. del HPA Ciudad 1		Pot. del HPA Ciudad 2	
		dBW	W	dBW	W
México - Guadalajara	99.99	7.49	5.61	10.52	11.28
México - Monterrey	99.99	5.46	3.52	8.14	6.51
México - León	99.99	4.82	3.03	5.04	3.19
México - Hermosillo	99.99	0.59	1.15	2.36	1.72
México - Veracruz	99.99	4.91	3.09	5.19	3.31
Guadalajara - Pto. Vallarta	99.99	4.27	2.67	4.88	3.08
Guadalajara - Mansanillo	99.99	6.05	4.02	5.48	3.53
Monterrey - Chihuahua	99.99	-3.87	0.41	-5.73	0.27
Monterrey - Cd. Juárez	99.99	-2.10	0.62	-4.89	0.32
Hermosillo - Tijuana	99.99	-0.58	0.88	-2.30	0.59
Hermosillo - Mexicali	99.99	-0.70	0.85	-2.62	0.55
Veracruz - Puebla	99.80	-4.67	0.34	-6.32	0.23
Veracruz - Mérida	99.80	-3.69	0.43	-5.30	0.30
Veracruz - Coatzacoalcos	99.99	0.05	1.01	-1.20	0.76
León - Morelia	99.80	-5.14	0.31	-6.22	0.24
León - Aguascalientes	99.99	-2.57	0.55	-3.55	0.44
Morelos - Oaxaca	99.80	-4.22	0.38	-5.22	0.27
Morelos - Tuxtla Gtz.	99.80	-4.38	0.37	-5.24	0.30

tabla 4.9

Abaco.

Esta institución es también una casa de bolsa y posee una red satelital constituida por 3 estaciones terrenas. Así pues, se tiene una estación central en Monterrey y dos estaciones remotas; México D.F. y Guadalajara.

Al diseñar la red se optó por utilizar una configuración tipo malla a efecto de que pudiese haber comunicación entre las tres estaciones terrenas. Los diámetros de las antenas son de 6.1 m para la E/T central, y de 4.5 m para las dos remotas.

En lo referente a modulación se dispuso introducir la técnica BPSK y, por otra parte, la técnica de acceso al satélite es de naturaleza híbrida puesto que se usa TDM/FDMA/SCPC.

Para manejar la información se tienen 6 portadoras; la disponibilidad para operar con lluvia es del 99.9% en tanto que la relación de código para corrección de errores FEC es de 1/2. La tasa de bits erróneos (BER) es de 10^{-7} y la velocidad de transmisión es de 128kbps, con excepción del enlace Monterrey-México que opera a 256 kbps.

El intervalo de frecuencias para recepción va de los 11.7 GHz, hasta los 12.2 GHz en tanto que para transmisión va de 14 GHz, a 14.5 GHz, esto en banda Ku evidentemente.

Las potencias de los amplificadores de alta potencia (HPA) de los enlaces son indicadas en la tabla 4.10.

Enlace entre:	Pot. del HPA Ciudad 1		Pot. del HPA Ciudad 2	
	dBW	W	dBW	W
Monterrey - México D.F.	-6.98	0.20	-2.64	0.54
Monterrey - Guadalajara	-6.93	0.20	-2.30	0.59
México D.F. - Guadalajara	-1.65	0.68	-1.23	0.75

tabla 4.10

La red satelital de Abaco inició sus operaciones el primero de julio de 1988.

Un enlace típico de ésta red con todos sus parámetros entre las ciudades de Monterrey y México D.F. se muestra a continuación.

CALCULO DE ENLACE SATELITE MORELOS I	REDSATELITAL ABACO	DISPONIBILIDAD:	
		99.9 %	
		E/T Monterrey	E/T México
Diámetro de antena	m	6.10	4.50
Frecuencia de Operación	GHz	14.25	14.25
Ganancia en transmisión	dB	56.96	54.32
Ganancia en recepción	dB	55.44	52.79
Temperatura total del sistema	K	230.66	220.06
G/T de la E.T.	dB/K	31.82	29.37
D.F.S.	dBW/m ²	-89.86	-90.16
Ajuste de ganancia	dB	9.00	9.00
G/T del satélite	dB/K	2.12	2.42
Back-off de entrada	dB	8.00	8.00

ENLACE ASCENDENTE

Pérdidas Atmosféricas	dB	0.60	0.60
Pérdidas en el espacio libre	dB	206.80	206.80
Pérdidas por apuntamiento	dB	0.10	0.10
Constante de Boltzman	dB/K	-228.60	-228.60
Margen de lluvia	dB	1.30	6.30
C/No ascendente	dB-Hz	70.30	62.42
C/N ascendente	dB	13.26	5.32

ESTACION TERRENA

P.I.R.E./ Portadora de la E/T	dB	48.48	45.18
Pérdidas por Alimentación	dB	0.10	0.10
Back-off de salida	dB	0.00	0.00
Potencia/portadora del HPA	dBW	-6.98	-2.64
Potencia/portadora del HPA	W	0.20	0.54

ENLACE DESCENDENTE

Pérdidas en el espacio libre	dB	205.28	205.22
Pérdidas por apuntamiento	dB	0.19	0.00
Margen de lluvia	dB	7.20	4.30
Constante de Boltzman	dBJ/K	-228.60	-228.60
P.I.R.E. de saturación req.	dBW	15.27	17.21
P.I.R.E. de saturación en Transpondedor	dBW	48.20	47.20
C/No descendente	dB.Hz	77.00	65.06
C/N descendente	dB	19.90	7.96

ENLACE GLOBAL

Velocidad	kbps	256.00	256.00
Eb/No	dB	5.40	5.40
C/I del transpondedor	dB	10.50	12.47
C/N requerido	dB	239	239
C/N total	dB	7.70	2.52

POSICIONAMIENTO DE LA ANTENA

Latitud Norte	grad	25.68	9.35
Longitud Oeste	grad	100.30	9.010
Elevación	grad	56.55	1.91
Acimut	grad	208.42	277.90
h	grad	28.67	24.01
Rango	km.	36695.60	36430.22

Telenales (Telégrafos Nacionales).

Actualmente Telégrafos Nacionales cuenta con una red satelital para satisfacer la demanda de sus servicios como son: telegramas, giros, fonotelegrafía, telefonía, autotelegrafía, facsimil, y correo electrónico.

La configuración de la red de Telenales es un tanto singular en virtud de que conjuga una red malla con una red estrella para satisfacer eficientemente las necesidades de sus estaciones terrenas. Ocho son las

E/T que conforman la red de Telenales; siete de ellas son remotas y una central. Los diferentes diámetros de antenas usados son 6.1 m para la central, mientras que para las remotas se tienen de 4.5 m y de 2.4 m.

En la tabla 4.11 se muestran los puntos que integran la red satelital de Telenales y el diámetro de la antena utilizado:

Lugar	Diámetro (m)
México D. F.	6.1
Guadalajara	4.5
Hermosillo	4.5
Monterrey	4.5
Oaxaca	2.4
Mérida	2.4
Tuxtla Gtz.	2.4
Coatzacoalcos	2.4

Tabla 4.11

Se hace notar que la red malla está integrada por México D.F., Hermosillo, Monterrey y Guadalajara; por su parte, la red estrella contempla a Oaxaca, Merida, Tuxtla Gtz. y Coatzacoalcos. En la figura 4.5 se esquematizan las dos redes.

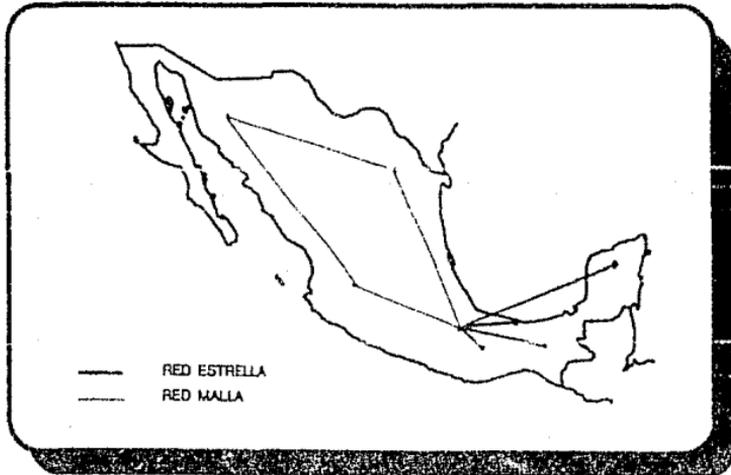


figura 4.5 a. red malla, b. red estrella.

La modulación utilizada es BPSK mientras que la técnica de acceso es igual a la de Abaco; es decir TDM/FDMA/SCPC. La disponibilidad considerada para lluvia es del 99.9%; la relación de código para corrección de errores FEC es de 1/2 y la tasa de bits erróneos (BER) es de 10^{-7} . Telégrafos nacionales maneja 20 portadoras con una velocidad de transmisión de 64 kbps. De aquellas portadoras 7 son para México, 3 para Monterrey, 3 para Guadalajara, 3 para Hermosillo, y una para cada una de las E/T restantes; es decir, Oaxaca, Tuxtla Gtz, Mérida y Coahuila respectivamente haciendo un total de 20.

Las potencias requeridas por portadora para los enlaces de la red son los expuestos en la tabla 4.12.

Enlace entre:	Pot. del HPA Ciudad 1		Pot. del HPA Ciudad 2	
	dBW	W	dBW	W
México D.F. - Monterrey	-3.27	0.47	-4.97	0.32
México D.F. - Hermosillo	1.00	1.26	-3.20	0.48
México D.F. - Guadalajara	4.60	2.88	5.02	3.17
Guadalajara - Monterrey	1.72	1.49	-0.28	0.94
Guadalajara - Hermosillo	3.99	2.51	3.49	2.23
Hermosillo - Monterrey	-5.49	0.28	-2.82	0.52
México D.F. - Mérida	6.27	4.24	2.33	1.71
Méx. D.F. - Coahuila	3.12	2.05	1.20	1.32
México D.F. - Oaxaca	3.19	2.08	-0.54	0.88

tabla 4.12

Esta red inició sus operaciones en julio de 1988.

Arka

La casa de bolsa Arka intercambia su información financiera y económica a través de un enlace nacional de comunicaciones vía el satélite Morelos. Las dos únicas estaciones terrenas que constituyen la red están ubicadas en México D.F. Y Monterrey N.L. de tal suerte que la configuración de la red es, evidentemente, punto a punto. De esto se desprende que la técnica de acceso al satélite es SCPC; por otra parte, los diámetros de las antenas son de 2.4 m para las dos estaciones terrenas. Son dos las portadoras que cubren las necesidades de Arka a una velocidad de 128 kbps con modulación BPSK. La disponibilidad considerada por lluvia es del 99.8% mientras que la relación del código para corrección de errores (FEC) es de 1/2. La banda de frecuencias para transmitir va de los 14 GHz a los 14.5 GHz y para la recepción va de 11.7 GHz a 12.2 GHz.

Las potencias requeridas por portadora para el enlace son las expuestas en la tabla 4.13.

Enlace entre :	Potencia del HPA	
	dBW	W
México D.F. - Monterrey	2.85	1.93
Monterrey - México D.F.	-2.58	0.55

tabla 4.13

Esta red inició sus operaciones en agosto de 1988.

Los parámetros utilizados para el cálculo del enlace y los resultados obtenidos se muestran en la siguiente relación:

CÁLCULO DEL ENLACE SATELITE MORELOS I	RED SATELITAL ARKA	DISPONIBILIDAD: 99.8 %	
		E/T México D.F.	E/T Monterrey
Diámetro de antena	m	2.40	2.40
Frecuencia de Operación	GHz	14.25	14.25
Ganancia en transmisión	dB	48.86	48.86
Ganancia en recepción	dB	47.33	47.33
Temperatura total del sistema	K	230.06	220.66
G / T de la E.T.	dB/K	23.72	23.90
D . F . S .	dBW/m ²	-90.16	-89.86
Ajuste de ganancia	dB	9.00	9.00
G/T del satélite	dB/K	2.42	2.12
Back-off de entrada	dB	8.00	8.00

ENLACE ASCENDENTE

Pérdidas Atmosféricas	dB	0.60	0.60
Pérdidas en el espacio libre	dB	206.79	206.85
Pérdidas por apuntamiento	dB	0.10	0.10
Constante de Boltzman	dB/K	-228.60	-228.60
Margen de lluvia	dB	4.20	1.00
C/No ascendente	dB-Hz	66.65	67.25
C/N ascendente	dB	12.56	13.17

ESTACION TERRENA

P.I.R.E./ Portadora de la E/T	dB	47.31	45.08
Pérdidas por Alimentación	dB	0.10	0.10
Back-off de salida	dB	0.00	0.00
Potencia/portadora del HPA	dBW	2.85	-2.58
Potencia/portadora del HPA	W	1.93	0.55

ENLACE DESCENDENTE

Pérdidas en el espacio libre	dB	205.22	205.28
Pérdidas por apuntamiento	dB	0.10	0.00
Margen de lluvia	dB	2.20	4.80

Análisis de las Redes

Constante de Boltzman	dB/K	-228.60	-228.60
P.I.R.E. de saturación req.	dB W	13.81	17.04
P.I.R.E. de saturación en Transpondedor	dB W	47.25	48.25
C/N _o descendente	dB.Hz	58.10	59.22
C/N descendente	dB	4.02	5.14

ENLACE GLOBAL

Velocidad	kbps	128.00	128.00
Ejemplo	dB	5.40	5.40
C/I del transpondedor	dB	12.08	15.68
C/N requerido	dB	2.39	2.39
C/N total	dB	2.76	3.89

POSICIONAMIENTO DE LA ANTENA

Latitud Norte	grad	19.35	25.68
Longitud Oeste	grad	99.01	100.30
Elevación	grad	61.91	56.55
Acimut	grad	217.95	208.42
b	grad	24.01	28.67
Rango	km.	36430.22	36695.62

Multivalores

La infraestructura satelital de la casa de bolsa **Multivalores** está conformada por tres estaciones terrenas, instaladas en los estados de Monterrey, Guadalajara y México D.F.

Multivalores cursa cuatro portadoras digitales a una velocidad de 128 kbps, dos de ellas son para la Ciudad de México y las dos restantes son para Guadalajara y Monterrey respectivamente. La asignación de las portadoras se muestra en la tabla 4.14.

Portadora	Origen de transmisión	Frecuencia de acceso MHz.
1	México D.F.	14.233.40
2	México D.F.	14.265.80
3	Guadalajara	14.266.20
4	Monterrey	14.266.60

Tabla 4.14

El diámetro de las antenas es de 1.8 m. para las tres estaciones terrenas, estableciendo comunicación entre ellas bajo una configuración punto a punto (P. A. P.). La técnica de acceso al satélite es SCPC y el tipo de modulación es QPSK.

La confiabilidad considerada para casos de lluvia es del 99.5% y se utiliza una relación de código para corrección de errores FEC de 1/2.

Las potencias requeridas por portadora en el HPA, para los enlaces, son las mostradas en la tabla 4.15.

Enlace entre:	Pot. del HPA Ciudad 1		Pot. del HPA Ciudad 2	
	dBW	W	dBW	W
México D.F. - Monterrey	0.2	1.05	-0.32	0.93
México D.F. - Guadalajara	2.3	1.7	3.6	2.03

tabla 4.15

Multivalores reporta problemas de pérdida de sincronía por lluvia en Monterrey, con caídas de la señal que oscilan entre 15 y 20 minutos.

La red comenzó a operar en mayo de 1988.

El cálculo México - Monterrey es mostrado a continuación (no se incluyen ecuaciones solo resultados):

CALCULO DEL ENLACE SATELITE MORELOS I	RED SATELITAL Multivalores	DISPONIBILIDAD: 99.5 %	
		E/T México D.F.	E/T Monterrey
Diámetro de antena	m	1.80	1.80
Frecuencia de Operación	GHz	14.25	14.25
Ganancia en transmisión	dB	46.36	46.36
Ganancia en recepción	dB	44.83	44.83
Temperatura total del sistema	K	230.06	220.66
G/T de la E.T.	dB/K	21.22	21.40
D. F. S.	dBW/m ²	-90.16	-89.86
Ajuste de ganancia	dB	15.00	15.00
G/T del satélite	dB/K	2.42	2.12
Back-off de entrada	dB	8.00	8.00
ENLACE ASCENDENTE			
Pérdidas Atmosféricas	dB	0.60	0.60
Pérdidas en el espacio libre	dB	206.79	206.85
Pérdidas por apuntamiento	dB	0.10	0.10
Constante de Boltzman	dB/K	-228.60	-228.60
Margen de lluvia	dB	2.20	0.00
C/No ascendente	dB-Hz	65.60	69.10
C/N ascendente	dB	11.52	15.03
ESTACION TERRENA			
P.I.R.E./ Portadora de la E/T	dB	44.27	45.90
Pérdidas por Alimentación	dB	0.10	0.10
Back-off de salida	dB	4.50	4.50
Potencia/portadora del HPA	dBW	0.20	-0.32

Potencia/portadora del HPA	W	1.05	0.93
----------------------------	---	------	------

ENLACE DESCENDENTE

Pérdidas en el espacio libre	dB	205.20	205.20
Pérdidas por apuntamiento	dB	0.10	0.10
Margen de lluvia	dB	0.20	0.00
Constante de Boltzman	dB/K	-228.60	-228.60
P.I.R.E. de saturación req.	dBW	14.67	14.36
P.I.R.E. de saturación en			
Transpondedor	dBW	47.25	48.25
C/No descendente	dB.Hz	58.47	58.47
C/N descendente	dB	4.39	4.39

ENLACE GLOBAL

Velocidad	kbps	128.00	128.00
C/I del transpondedor	dB		
C/N requerido	dB	2.39	2.39
C/N total	dB	2.75	3.46

POSICIONAMIENTO DE LA ANTENA

Latitud Norte	grad	19.35	25.68
Longitud Oeste	grad	99.01	100.30
Elevación	grad	61.91	56.55
Acimut	grad	217.95	208.42
b	grad	24.01	28.67
Rango	km.	36430.22	36695.62

Chrysler

Chrysler inició sus operaciones en el año de 187.

Los estados de Coahuila y México D.F. constituyen la red satelital de la industria automotriz Chrysler. Específicamente, el enlace es entre

Ciudad de México y Ramos Arizpe, Coahuila, y es llevado a cabo por dos portadoras digitales con velocidades de 128 kbps. En virtud de que sólo se tienen dos estaciones terrenas, la configuración de la red es, obviamente, punto a punto (P.A.P.) con lo cual la técnica de acceso al satélite es SCPC. La modulación de las portadoras es QPSK; la relación de código para corrección de errores FEC es de 1/2 y la tasa de bits erróneos BER es de 10^{-7} . Una disponibilidad del 99.5% fue considerada para la lluvia manejando diámetros de 2.4 m en las dos antenas. Un diagrama detallado de la red de Chrysler es mostrado en la figura 4.6.

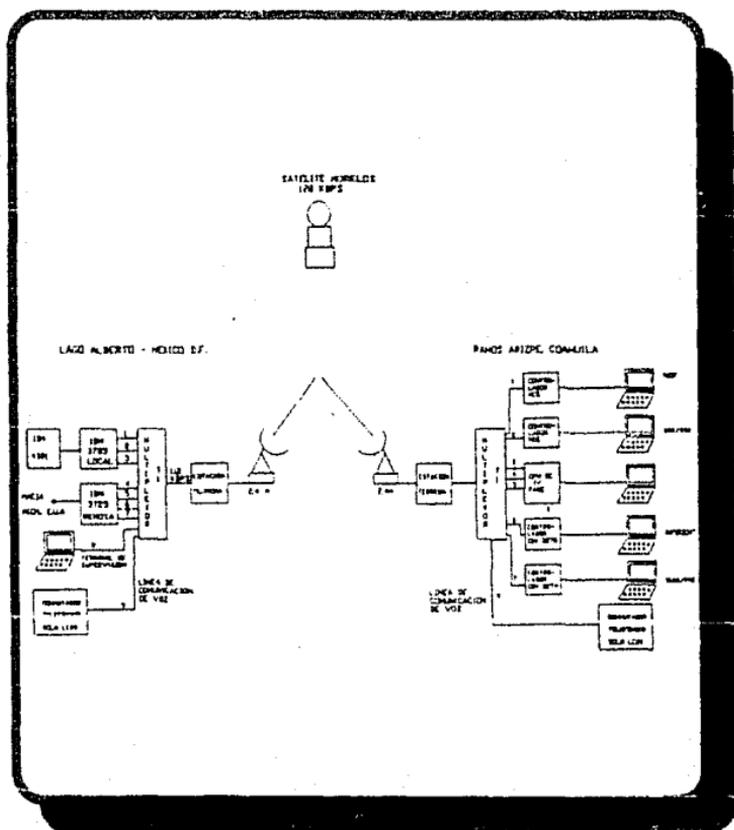


Figura 4.6 Diagrama de la red Chrysler

Las potencias consumidas por portadora en el enlace son las expuestas en la tabla 4.16.

Enlace entre:	Potencia del HPA.	
	dBW	W
México D.F.- Coahuila	-10	0.1
Coahuila- México	-10	0.1

Tabla 4.16

Esta red, al igual que la del Tecnológico de Monterrey, desde el inicio de sus operaciones maneja los servicios de voz y datos.

Como respaldo al sistema satelital, Chrysler cuenta con el servicio de microondas.

En cuanto a desarrollos futuros se tiene pensado instalar 150 estaciones terrenas, sin embargo, el proyecto esta en estudio todavía.

Los parámetros para el calculo del enlace, y los resultados, son expuestos enseguida:

CALCULO DEL ENLACE SATELITE MORELOS I	REDSATELITAL CHRYSLER	DISPONIBILIDAD: 99.95 %	
		E/T Monterrey	E/T México D.F.
Diámetro de antena	m	2.40	2.40
Frecuencia de Operación	GHz	14.0/14.5	14.0/14.5
		11.7/12.2	11.7/12.2
Ganancia en transmisión	dB	48.70	48.70
Ganancia en recepción	dB	47.20	47.20
Temperatura total del sistema	K	295.00	295.00
G / T de la E.T.	dB/K	22.50	22.50

Análisis de las Redes

D . F . S .	dBW/m ²	-90.10	-90.10
Ajuste de ganancia	dB	9.00	9.00
G/T del satélite	dB/K	24.00	24.00
Back-off de entrada	dB	8.50	8.50

ENLACE ASCENDENTE

Pérdidas Atmosféricas	dB	0.20	0.20
Pérdidas en el espacio libre	dB	206.80	206.80
Pérdidas por apuntamiento	dB	0.50	0.50
Constante de Boltzman	dB/K	-228.60	-228.60
Margen de lluvia	dB	22.20	22.20
C/No ascendente	dB-Hz	62.50	60.70
C/N ascendente	dB	9.20	9.60

ESTACION TERRENA

P.I.R.E./ Portadora de la E/T	dB	38.60	36.70
Pérdidas por Alimentación	dB	0.00	0.00
Back-off de salida	dB	10.80	12.70
Potencia/portadora del HPA	dBW	-10.00	-10.00
Potencia/portadora del HPA	W	0.10	0.10

ENLACE DESCENDENTE

Pérdidas en el espacio libre	dB	205.20	205.30
Pérdidas por apuntamiento	dB	0.50	0.20
Constante de Boltzman	dB/K	-228.60	-228.60
P.I.R.E. de saturación req	dBW	18.20	16.00
P.I.R.E. de saturación en Transpondedor	dBW	47.50	47.20
C/No descendente	dB.Hz	61.00	60.600
C/N descendente	dB	9.90	9.50

ENLACE GLOBAL

Velocidad	kbps	128.00	128.00
C/I del transpondedor	dB		
C/N requerido	dB	6.40	6.40
C/N total	dB	8.60	8.60

POSICIONAMIENTO DE LA ANTENA

Latitud Norte	grad	25.68	19.35
Longitud Oeste	grad	100.30	99.01
Elevación	grad	56.55	61.91
Acimut	grad	208.42	217.95
b	rad	28.67	24.01
Rango	km.	36695.62	36430.22

Banco del Atlántico.

Cinco son las estaciones terrenas de la red satelital de este banco, y mediante ellas se establecen cuatro enlaces. La sede de las estaciones terrenas son las ciudades de Monterrey, Hermosillo, Guadalajara, Mérida y México D.F.; ésta última actúa como estación principal. Con esta tónica, los enlaces de las cuatro primeras ciudades mencionadas centralizan hacia la Ciudad de México lo cual da a esta red una configuración punto a punto. Así pues, la técnica de acceso al satélite es SCPC, en tanto que la modulación utilizada es QPSK.

Por cada enlace se tienen dos portadoras, lo cual hace un total de ocho portadoras que operan a una velocidad de 128 kbps. El margen de confiabilidad por lluvia es del 99.8%; la relación de código para corrección de errores FEC es de 1/2, y la tasa de bits erróneos es de 10^{-7} .

Los diámetros de las antenas empleadas son de 2.4 m para todos los casos.

La banda de frecuencias para transmisión es de 14 a 14.5 GHz, y para recepción de 11.7 a 12.2 GHz.

Las potencias requeridas por portadora para cada uno de los cuatro enlaces son los mostrados en la tabla 4.17.

Enlace entre:	Pot. del HPA Ciudad 1		Pot. del HPA Ciudad 2	
	dBW	W	dBW	W
México D.F. -Hermosillo	0.79	1.20	-0.45	0.90
México D.F - Monterrey	-1.54	0.70	-3.97	0.40
México D.F - Guadalajara	-1.54	0.70	-1.13	1.30
Guadalajara -Mérida	0.0	1.00	1.76	1.50

tabla 4.17

Banco del atlántico comenzó a operar su sistema satelital en noviembre de 1988.

Los parámetros necesarios para el calculo de un enlace típico de esta red, y los resultados, se muestran en el siguiente listado:

CALCULO DEL ENLACE REDSATELITAL DISPONIBILIDAD:
SATELITE MORELOS I BANCO DEL ATLANTICO 99.8 %

		E/T Hermosillo	E/T México D.F.
Diámetro de antena	m	2.40	2.40
Frecuencia de Operación	GHz	14.0/14.5 11.7/12.2	14.0/14.5 11.7/12.2
Ganancia en transmisión	dB	47.20	47.20
Ganancia en recepción	dB	48.70	47.70
Temperatura total del sistem	K	295.00	295.00
G / T de la E.T.	dB/K	22.50	22.50
D . F . S .	dBW/m ²	-81.10	-81.10
Ajuste de ganancia	dB	9.00	9.00
G/T del satélite	dB/K	2.40	2.40
Back-off de entrada	dB	8.50	8.50

ENLACE ASCENDENTE

Pérdidas Atmosféricas	dB	0.20	0.20
-----------------------	----	------	------

Análisis de las Redes

Pérdidas en el espacio libre	dB	206.80	206.90
Pérdidas por apuntamiento	dB	0.50	0.5 0
Constante de Boltzman	dB/K	-228.60	-228.60
Margen de lluvia	dB	4.20	3.00
C/No ascendente	dB-Hz	72.30	70.80
C/N ascendente	dB	21.20	18.70

ESTACION TERRENA

P.I.R.E./ Portadora de la E/T	dB	48.30	46.90
Pérdidas por Alimentación	dB	0.00	0.00
Back-off de salida	dB	4.00	5.40
Potencia/portadora del HPA	dBW	0.79	-0.46
Potencia/portadora del HPA	W	1.20	0.90

ENLACE DESCENDENTE

Pérdidas en el espacio libre	dB	205.20	205.20
Pérdidas por apuntamiento	dB	0.50	0.50
Margen de lluvia	dB	4.20	3.00
Constante de Boltzman	dB/K	-228.60	-228.60
P.I.R.E. de saturación req.	dBW	22.50	22.50
P.I.R.E. de saturación en Transpondedor	dBW	45.90	47.20
C/No descendente	dB.Hz	67.80	67.80
C/N descendente	dB	11.20	10.10

ENLACE GLOBAL

Velocidad	kbps	128.00	128.00
C/I del transpondedor	dB		
C/N requerido	dB	6.40	6.40
C/N total	dB	10.60	10.60

La información expuesta a lo largo de este capítulo se condensa en la tabla 4.18 mostrada en seguida a fin de distinguir las semejanzas y diferencias entre las redes analizadas.

Nombre de la red	Número de ET	Diámetro de antenas (m)*	Config. de la red	Tipo de Mod.	Técnica de Acceso	Conflab. por Lluvia	Código FEC	BER	Velocidad de transm. kbps	Número de portadoras	Potencia del HPA (W)*	Inicio de operación	Respaldo de microondas
INVERLAT	31	EM 6.4 R. 3.6 R. 2.4	Estrella	BPSK	TDM / TDMA	asc: 99.98 desc: 99.95	1/2	10^{-7}	56	10	0.1 0.2 0.5	agosto 87	SI
PROBURSA	23	EM 6.4 R. 3.6 R. 2.4	Estrella	BPSK	TDM / TDMA	99.90	1/2	10^{-7}	56	14	0.12 0.16 0.24 0.70	junio 88	SI
Tec. Mont.	23	EM 4.6 R. 1.8	Estrella	BPSK	TDM / TDMA	99.50	1/2	10^{-7}	56 64	32		agosto 87	NO
BANAMEX	51	EM 7.6 R. 4.5 R. 3.6 y 1.8	Estrella	BPSK QPSK	TDM / TDMA	99.90 99.98	1/2	10^{-7}	64 128 512 2048	146	0.41 0.88 1.15 3.52 4.02 5.61	agosto 86	SI
ABACO	3	EM 6.1 R. 4.5	Malla	BPSK	TDM / FDMA / SCPC	99.90	1/2	10^{-7}	128 256	6	0.20 0.66	junio 87	SI
TELENALES	8	EM 6.1 R. 4.5	Malla / Estrella	BPSK	TDM / FDMA / SCPC	99.90	1/2	10^{-7}	64	20	0.28 0.47 1.26 2.51 2.88	junio 88	SI
ARKA	2	R. 2.4	P.A.P.	BPSK	SCPC	99.80	1/2		128	2	0.55 1.93	agosto 88	SI
MULTIV	3	R. 1.8	P.A.P.	QPSK	SCPC	99.50	1/2		128	4	0.93 1.65 1.70 2.03	mayo 88	SI
CHRYSLER	2	R. 2.4	P.A.P.	QPSK	SCPC	99.50	1/2	10^{-7}	128	2	0.10	87	SI
ATLANTICO	5	R. 2.4	P.A.P.	QPSK	SCPC	99.80	1/2	10^{-7}	128	8	0.40 0.70 1.00 1.30 1.50	diciembre 88	SI

tabla 4.18. Resumen de las Redes Privadas.

5

**EVALUACION
TECNICA DE
LAS REDES**

INTRODUCCION

Hasta ahora se han atendido tanto aspectos teóricos como prácticos por lo que a las redes privadas de comunicación de datos vía satélite se refiere. En este sentido, en el capítulo uno se abordaron aspectos relativos al sistema de satélites Morelos; en el segundo capítulo se presentó, entre otras cosas, el soporte teórico de las ecuaciones utilizadas para el cálculo de los enlaces y el programa que para tal efecto se desarrolló. En la tercera parte se tocaron las técnicas de modulación, así como las modalidades de acceso múltiple al satélite mientras que, por su parte, en el capítulo cuatro ya se introdujeron los aspectos más relevantes de las redes privadas estudiadas.

En las páginas sucesivas de este capítulo procedemos al análisis de las redes de interés de acuerdo al siguiente esquema de trabajo: retomando el programa incluido en el capítulo II se hacen "corridas" para cada una de las tablas de los parámetros expuestos en el capítulo IV y algunas más. Los resultados así obtenidos se disponen con un formato particular de tal suerte que sea posible comparar los valores operativos con los arrojados por el programa. La intención de tal comparación es poder observar qué tanto optimizaron sus enlaces las redes privadas de interés atendiendo, fundamentalmente, la potencia del HPA (amplificador de alta potencia).

Cabe hacer mención de que sólo se mostrarán cuadros con los resultados de los cálculos efectuados dejándose las observaciones y los comentarios para el apartado de conclusiones y perspectivas.

EVALUACION TECNICA DE LAS REDES

Los cuadros elaborados para la evaluación de algunos enlaces de las redes privadas estudiadas incluyen sólo los aspectos más relevantes en el cálculo de un enlace. De esta manera, se indica el nombre de la institución, las ciudades enlazadas, el diámetro de las antenas, la relación portadora - densidad de ruido requerida $(C/N_o)_{req}$, la ascendente $(C/N_o)_{asc}$, la descendente $(C/N_o)_{des}$, la de intermodulación $(C/N_o)_{int}$, y la total $(C/N_o)_{tot}$. Así también se indica el cociente $[(C/N_o)_{tot}/(C/N_o)_{req}]$, y la potencia del amplificador de alta potencia (HPA) en Watts y dB Watts considerando cielo despejado y lluvia.

En general, la relación portadora - densidad de ruido (C/N_o) se puede interpretar como un parámetro que indica la calidad de alguna señal. Con esto, la $(C/N_o)_{asc}$ comprende el enlace entre la estación transmisora y el satélite; la $(C/N_o)_{des}$ está referida al enlace entre el satélite y la estación receptora; la $(C/N_o)_{int}$ corresponde al transpondedor y está en función del número de portadoras que se cursan por aquél; la $(C/N_o)_{req}$ es el valor mínimo para el cual opera el modem, en tanto que la $(C/N_o)_{tot}$ es una evaluación global del enlace obtenida a partir de la $(C/N_o)_{asc}$, $(C/N_o)_{des}$ y $(C/N_o)_{int}$. El cociente $[(C/N_o)_{tot}/(C/N_o)_{req}]$ se puede entender como una cierta "eficiencia", en virtud que se compara un valor obtenido con un valor requerido; en este sentido cabe indicar que la "eficiencia" será mejor cuando el valor del cociente tienda a cero en virtud de que está dado en dB.

Por lo que al HPA corresponde está obligado indicar que es lo más importante en el enlace ya que de él depende tener un nivel adecuado de la señal. además, de la capacidad del HPA depende, en parte, el costo del segmento terrestre.

En los cuadros los "valores operativos" fueron extraídos de las memorias técnicas de cada red en particular mientras que, por su parte, los "valores estimados" se obtuvieron con el programa del capítulo II de este trabajo.

Se hace notar que sólo se "corrieron" enlaces para 7 de las 10 redes estudiadas por no contar con la totalidad de las memorias técnicas.

INVERLAT: A continuación se muestran los cuadros correspondientes a la red Inverlat que, dicho sea de paso, de las casas de bolsa estudiadas, es la que más estaciones terrenas posee. Dada la naturaleza de la red se optó por incluir cinco cálculos de enlace que son los siguientes:

INVERLAT	Ciudades Enlazadas	Antena diam. m	(C/No) _{req} dB-Hz	(C/No) _{asc} dB-Hz	(C/No) _{dsc} dB-Hz	(C/No) _{inter} dB-Hz	(C/No) _{tot} dB-Hz	(C/No) _{int} (C/No) _{req} dB	Pot. HPA sin lluvia W	Pot. HPA con lluvia W	Pot. HPA sin lluvia dBW	Pot. HPA con lluvia dBW
Valores Operativos	México	Tx: 6.4	54.50	66.30	66.70	68.50	55.00	4.5	0.20	-6.90	0.20	-6.30
	Monterrey	Rx: 2.4										
Valores Estimados	México	Tx: 6.4	54.50	63.91	55.89	67.20	54.99	0.49	0.018	-17.35	0.19	-7.15
	Monterrey	Rx: 2.4										

168

INVERLAT	Ciudades Enlazadas	Antena diam. m	(C/No) _{req} dB-Hz	(C/No) _{asc} dB-Hz	(C/No) _{dsc} dB-Hz	(C/No) _{inter} dB-Hz	(C/No) _{tot} dB-Hz	(C/No) _{int} (C/No) _{req} dB	Pot. HPA sin lluvia W	Pot. HPA con lluvia W	Pot. HPA sin lluvia dBW	Pot. HPA con lluvia dBW
Valores Operativos	Guad.	Tx: 3.6	57.20	71.00	66.70	68.50	55.00	7.7	0.20	-7.40	1.90	2.80
	México	Rx: 6.4										
Valores Estimados	Guad.	Tx: 3.6	57.20	64.37	58.70	67.20	57.20	0.003	0.119	-9.24	1.56	1.95
	México	Rx: 6.4										

Evaluación Técnica de las Redes

INVERLAT	Ciudades Enlazadas	Antena diam. m	(C/No)	(C/No)	(C/No)	(C/No)	(C/No)	(C/No) _{tot}	Pot. HPA sin lluvia		Pot. HPA con lluvia	
			req	asc	dsc	inter	tot	(C/No) _{req}	W	dBW	W	dBW
Valores Operativos	Monterrey	Tx: 2.4	50.50	65.70	58.10	68.50	55.00	0.50	0.10	-1.0	0.53	-2.70
	México	Rx: 6.4										
Valores Estimados	Monterrey	Tx: 2.4	50.50	57.25	51.67	67.20	50.51	0.01	0.055	-12.63	0.15	-8.13
	México	Rx: 6.4										

INVERLAT	Ciudades Enlazadas	Antena diam. m	(C/No)	(C/No)	(C/No)	(C/No)	(C/No)	(C/No) _{tot}	Pot. HPA sin lluvia		Pot. HPA con lluvia	
			req	asc	dsc	inter	tot	(C/No) _{req}	W	dBW	W	dBW
Valores Operativos	México	Tx: 6.4	50.80	68.40	68.70	68.50	55.00	6.60	0.50	-3.20	0.50	-3.20
	Tijuana	Rx: 2.4										
Valores Estimados	México	Tx: 6.4	50.80	65.95	51.05	67.20	50.81	0.01	0.03	-15.3	0.31	-5.14
	Tijuana	Rx: 2.4										

INVERLAT	Ciudades Enlazadas	Antena diam. m	(C/No) req dB-Hz	(C/No) asc dB-Hz	(C/No) dsc dB-Hz	(C/No) inter dB-Hz	(C/No) tx dB-Hz	(C/No) ^{tot} req dB	Pot. HPA sin lluvia W dBW		Pot. HPA con lluvia W dBW	
Valores Operativos	México	Tx: 6.4	53.70	73.10	73.30	68.50	55.00	11.2	0.50	-3.2	0.50	-3.2
	Guad.	Rx: 2.4										
Valores Estimados	México	Tx: 6.4	53.70	67.17	54.13	67.20	53.72	0.02	0.04	-14.1	0.41	-3.9
	Guad.	Rx: 2.4										

BANAMEX:

En los siguientes cuadros se muestran algunos enlaces de la red BANAMEX para las ciudades más importantes (México, Guadalajara Monterrey y Heremosillo), económicamente hablando y para otras de menor importancia.

BANAMEX	Ciudades Enlazadas	Antena diam. m	(C/No) req dB-Hz	(C/No) asc dB-Hz	(C/No) dsc dB-Hz	(C/No) inter dB-Hz	(C/No) tx dB-Hz	(C/No) ^{tot} req dB	Pot. HPA sin lluvia W dBW		Pot. HPA con lluvia W dBW	
Valores Operativos	México	Tx: 7.6	70.21	75.16	74.18	77.94	70.79	0.58	5.61	7.49	---	---
	Guad.	Rx: 4.5										
Valores Estimados	México	Tx: 6.4	70.21	84.02	71.95	77.61	70.70	0.49	2.38	3.76	---	---
	Guad.	Rx: 2.4										

BANAMEX	Ciudades Enlazadas	Antena diam. m	(C/No) _{req}	(C/No) _{asc}	(C/No) _{dsc}	(C/No) _{inter}	(C/No) _{tot}	(C/No) _{tot} (C/No) _{req}	Pot. HPA sin lluvia		Pot. HPA con lluvia	
			dB-Hz	dB-Hz	dB-Hz	dB-Hz	dB-Hz	dB	W	dBW	W	dBW
Valores Operativos	México	Tx: 7.6	70.21	73.13	74.65	75.34	70.79	0.58	3.52	5.46	---	---
	Monterrey	Rx: 4.5										
Valores Estimados	México	Tx: 7.6	70.21	77.48	72.63	77.61	70.47	0.26	0.52	-2.77	---	---
	Monterrey	Rx: 4.5										

BANAMEX	Ciudades Enlazadas	Antena diam. m	(C/No) _{req}	(C/No) _{asc}	(C/No) _{dsc}	(C/No) _{inter}	(C/No) _{tot}	(C/No) _{tot} (C/No) _{req}	Pot. HPA sin lluvia		Pot. HPA con lluvia	
			dB-Hz	dB-Hz	dB-Hz	dB-Hz	dB-Hz	dB	W	dBW	W	dBW
Valores Operativos	Veracruz	Tx: 4.5	58.17	66.65	62.64	61.74	58.75	0.58	0.34	-4.67	---	---
	Puebla	Rx: 3.6										
Valores Estimados	Veracruz	Tx: 4.5	58.17	67.64	59.86	65.57	58.29	0.12	0.15	-8.10	---	---
	Puebla	Rx: 3.6										

BANAMEX	Ciudades Enlazadas	Antena diam. m	(C/No)	(C/No)	(C/No)	(C/No)	(C/No)	(C/No) ^{tot}	Pot. HPA sin lluvia		Pot. HPA con lluvia	
			req dB-Hz	asc dB-Hz	dsc dB-Hz	inter dB-Hz	tot dB-Hz	(C/No) ^{req} dB	W	dBW	W	dBW
Valores Operativos	México	Tx: 7.6	64.19	68.46	69.29	69.99	64.77	0.58	1.15	0.59	---	---
	Hermosillo	Rx: 4.5										
Valores Estimados	México	Tx: 7.6	64.19	66.17	76.30	71.59	70.21	0.00	3.90	5.91	---	---
	Hermosillo	Rx: 4.5										

BANAMEX	Ciudades Enlazadas	Antena diam. m	(C/No)	(C/No)	(C/No)	(C/No)	(C/No)	(C/No) ^{tot}	Pot. HPA sin lluvia		Pot. HPA con lluvia	
			req dB-Hz	asc dB-Hz	dsc dB-Hz	inter dB-Hz	tot dB-Hz	(C/No) ^{req} dB	W	dBW	W	dBW
Valores Operativos	México	Tx: 4.5	64.19	68.73	68.21	72.81	64.77	0.58	3.09	4.91	---	---
	Veracruz	Rx: 4.5										
Valores Estimados	México	Tx: 4.5	64.19	76.97	65.77	72.59	64.68	0.49	1.34	1.27	---	---
	Veracruz	Rx: 4.5										

BANAMEX	Ciudades Enlazadas	Antena diam. m	(C/No) _{req}	(C/No) _{asc}	(C/No) _{dsc}	(C/No) _{inter}	(C/No) _{tot}	(C/No) _{req}	Pot. HPA sin lluvia		Pot. HPA con lluvia	
			dB-Hz	dB-Hz	dB-Hz	dB-Hz	dB-Hz	dB	W	dBW	W	dBW
Valores Operativos	Guad.	Tx: 4.5	57.59	68.87	61.91	66.59	58.17	0.58	4.02	6.05	---	---
	Manzan.	Rx: 1.8										
Valores Estimados	Guad.	Tx: 4.5	57.59	81.10	58.88	65.99	58.03	0.49	3.59	5.55	---	---
	Manzan.	Rx: 1.8										

BANAMEX	Ciudades Enlazadas	Antena diam. m	(C/No) _{req}	(C/No) _{asc}	(C/No) _{dsc}	(C/No) _{inter}	(C/No) _{tot}	(C/No) _{req}	Pot. HPA sin lluvia		Pot. HPA con lluvia	
			dB-Hz	dB-Hz	dB-Hz	dB-Hz	dB-Hz	dB	W	dBW	W	dBW
Valores Operativos	Monterrey	Tx: 4.5	58.17	65.84	62.56	62.26	58.75	0.58	0.41	-3.87	---	---
	Chihuahua	Rx: 3.6										
Valores Estimados	Monterrey	Tx: 4.5	58.17	67.81	60.07	65.57	58.45	0.28	0.17	-7.53	---	---
	Chihuahua	Rx: 3.6										

BANAMEX	Ciudades Enlazadas	Antena diam. m	(C/No)	(C/No)	(C/No)	(C/No)	(C/No)	(C/No) ^{tot}	Pot. HPA sin lluvia		Pot. HPA con lluvia	
			req dB-Hz	asc dB-Hz	dsc dB-Hz	inter dB-Hz	tot dB-Hz	(C/No) _{req} dB	W	dBW	W	dBW
Valores Operativos	Hermosillo	Tx: 4.5	58.17	66.96	60.43	64.66	58.75	0.58	0.88	-0.58	---	---
	Tijuana	Rx: 3.6										
Valores Estimados	Hermosillo	Tx: 4.5	58.17	73.66	99.52	66.57	58.42	0.25	0.61	-2.10	---	---
	Tijuana	Rx: 3.6										

ABACO:

Para la casa de bolsa ABACO se hicieron dos "corridos" que a continuación se muestran.

ABACO	Ciudades Enlazadas	Antena diam. m	(C/No)	(C/No)	(C/No)	(C/No)	(C/No)	(C/No) ^{tot}	Pot. HPA sin lluvia		Pot. HPA con lluvia	
			req dB-Hz	asc dB-Hz	dsc dB-Hz	inter dB-Hz	tot dB-Hz	(C/No) _{req} dB	W	dBW	W	dBW
Valores Operativos	Monterrey	Tx: 6.1	56.48	70.41	63.73	70.43	63.51	7.03	0.20	-6.93	---	---
	Guad.	Rx: 4.5										
Valores Estimados	Monterrey	Tx: 6.1	56.48	66.68	57.88	69.59	56.97	0.49	0.034	-14.69	---	---
	Guad.	Rx: 4.5										

ABACO	Ciudades Enlazadas	Antena diam. m	(C/No)	(C/No)	(C/No)	(C/No)	(C/No)	(C/No) _{tot}	Pot. HPA sin lluvia		Pot. HPA con lluvia	
			req dB-Hz	asc dB-Hz	dsc dB-Hz	inter dB-Hz	tot dB-Hz	(C/No) _{req} dB	W	dBW	W	dBW
Valores Operativos	México	Tx: 4.5	56.48	63.41	61.73	68.43	57.95	1.48	0.68	-1.65	---	---
	Guad.	Rx: 4.5										
Valores Estimados	México	Tx: 4.5	56.48	65.22	57.42	68.59	56.48	0.00	0.052	-12.87	---	---
	Guad.	Rx: 4.5										

ARKA :

Las tablas de los dos únicos enlaces de esta casa de bolsa se muestran a continuación.

ARKA	Ciudades Enlazadas	Antena diam. m	(C/No)	(C/No)	(C/No)	(C/No)	(C/No)	(C/No) _{tot}	Pot. HPA sin lluvia		Pot. HPA con lluvia	
			req dB-Hz	asc dB-Hz	dsc dB-Hz	inter dB-Hz	tot dB-Hz	(C/No) _{req} dB	W	dBW	W	dBW
Valores Operativos	México	Tx: 2.4	56.48	66.65	59.22	66.17	56.85	0.37	1.93	2.85	---	---
	Guad.	Rx: 2.4										
Valores Estimados	México	Tx: 2.4	56.48	64.48	57.84	69.59	56.75	0.27	0.15	-8.15	---	---
	Guad.	Rx: 2.4										

ARKA	Ciudades Enlazadas	Antena diam. m	(C/No) _{req} dB-Hz	(C/No) _{asc} dB-Hz	(C/No) _{dsc} dB-Hz	(C/No) _{inter} dB-Hz	(C/No) _{tot} dB-Hz	(C/No) _{tot} / (C/No) _{req} dB	Pot. HPA sin lluvia W	Pot. HPA con lluvia dBW	Pot. HPA con lluvia W	Pot. HPA con lluvia dBW
Valores Operativos	Monterrey	Tx: 2.4	56.48	67.25	58.10	69.77	56.98	1.50	0.95	-2.58	---	---
	México	Rx: 2.4										
Valores Estimados	Monterrey	Tx: 2.4	56.48	67.64	57.68	68.59	56.95	0.47	0.34	-4.63	---	---
	México	Rx: 2.4										

MULTIVALORES :

No obstante que esta casa de bolsa posee tres estaciones terrenas, se consideró que dos enlaces son suficientes para evaluar esta red y en seguida se muestran.

MULTIV.	Ciudades Enlazadas	Antena diam. m	(C/No) _{req} dB-Hz	(C/No) _{asc} dB-Hz	(C/No) _{dsc} dB-Hz	(C/No) _{inter} dB-Hz	(C/No) _{tot} dB-Hz	(C/No) _{tot} / (C/No) _{req} dB	Pot. HPA sin lluvia W	Pot. HPA sin lluvia dBW	Pot. HPA con lluvia W	Pot. HPA con lluvia dBW
Valores Operativos	México	Tx: 1.8	56.47	65.60	58.47	70.25	56.83	0.37	1.05	0.20	---	---
	Monterrey	Rx: 1.8										
Valores Estimados	México	Tx: 1.8	56.47	66.75	57.61	69.58	56.87	0.40	0.45	-3.38	---	---
	Monterrey	Rx: 1.8										

MULTIV.	Ciudades Enlazadas	Antena diam. m	(C/No) req dB-Hz	(C/No) asc dB-Hz	(C/No) dsc dB-Hz	(C/No) inter dB-Hz	(C/No) tot dB-Hz	(C/No) _{tot} req dB	Pot. HPA sin lluvia W dBW		Pot. HPA con lluvia W dBW	
Valores Operativos	México	Tx: 1.8	56.47	67.70	58.86	71.84	57.32	0.84	1.70	2.30	---	---
	Guad.	Rx: 1.8										
Valores Estimados	México	Tx: 1.8	56.47	67.95	57.09	68.59	56.47	0.08	0.60	-2.19	---	---
	Guad.	Rx: 1.8										

CHRYSLER :

Esta empresa automotriz tiene sólo dos estaciones terrenas; el enlace correspondiente se muestra a continuación.

CHRYSL.	Ciudades Enlazadas	Antena diam. m	(C/No) req dB-Hz	(C/No) asc dB-Hz	(C/No) dsc dB-Hz	(C/No) inter dB-Hz	(C/No) tot dB-Hz	(C/No) _{tot} req dB	Pot. HPA sin lluvia W dBW		Pot. HPA con lluvia W dBW	
Valores Operativos	México	Tx: 2.4	57.90	62.50	61.00	68.10	59.70	2.20	0.10	-10.0	---	---
	Monterrey	Rx: 2.4										
Valores Estimados	México	Tx: 2.4	57.90	67.67	59.55	67.80	58.39	0.49	0.31	-5.07	---	---
	Monterrey	Rx: 2.4										

BANCO DEL ATLANTICO :

En este caso sólo se incluyen tres enlaces a pesar de que la red posee cinco estaciones terrenas.

BANCO ATLANT.	Ciudades Enlazadas	Antena diam. m	(C/No)	(C/No)	(C/No)	(C/No)	(C/No)	(C/No) ^{tot}	Pot. HPA		Pot. HPA	
			req dB-Hz	asc dB-Hz	dsc dB-Hz	inter dB-Hz	tot dB-Hz	(C/No) ^{req} dB	sin lluvia W	dBW	con lluvia W	dBW
Valores Operativos	México	Tx: 2.4	57.90	70.03	67.80	68.10	61.70	4.20	0.70	-1.54	---	---
	Monterrey	Rx: 2.4										
Valores Estimados	México	Tx: 2.4	57.90	67.64	59.54	67.80	58.39	0.49	0.30	-5.09	---	---
	Monterrey	Rx: 2.4										

178

BANCO ATLANT.	Ciudades Enlazadas	Antena diam. m	(C/No)	(C/No)	(C/No)	(C/No)	(C/No)	(C/No) ^{tot}	Pot. HPA		Pot. HPA	
			req dB-Hz	asc dB-Hz	dsc dB-Hz	inter dB-Hz	tot dB-Hz	(C/No) ^{req} dB	sin lluvia W	dBW	con lluvia W	dBW
Valores Operativos	México	Tx: 2.4	57.90	70.30	67.80	68.10	61.70	4.20	0.70	-1.54	---	---
	Guad.	Rx: 2.4										
Valores Estimados	México	Tx: 2.4	57.90	71.20	59.07	67.80	58.30	0.40	0.70	-1.54	---	---
	Guad.	Rx: 2.4										

**CONCLUSIONES
Y
PERSPECTIVAS**

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

En primer término y con base en la descripción de las redes expuestas en el capítulo IV, cabe mencionar que en la generalidad de los casos las redes privadas para transmisión de datos y voz han observado un funcionamiento por demás eficiente en todos sentidos ya que, atendiendo a las características de las redes estudiadas, resalta el hecho de que las topologías empleadas por diversos usuarios en México son muy variadas, puesto que cubren los tres tipos básicos de redes. Sin embargo, es más notorio el hecho de que predomine el tipo estrella (quizá como un indicador de la centralización en los contextos político, económico y social).

Por otra parte, entrando a detalles de carácter técnico encontramos que las técnicas de modulación BPSK se adecúan más a las redes estrella y/o malla, en tanto que para las redes punto a punto encontramos ambos tipos de técnicas (tanto QPSK como BPSK).

Por lo que se refiere a los tipos de acceso, es muy importante indicar que para redes punto a punto sólo se halla disponible la técnica SCPC, en tanto que para redes malla o estrella predomina el TDM - TDMA aunque también cabe mencionar los casos notorios de redes híbridas como son las de ARACO y TELENALES que, por las necesidades de sus usuarios, presentan una configuración muy particular que nos permite observar la versatilidad de técnicas con que se puede operar una red a través del sistema de satélites Morelos.

En lo que respecta a los anchos de banda y velocidades de transmisión es de particular interés el indicar que no obstante debido a las normas de estandarización se pretende utilizar 64 kbps ó sus múltiplos enteros, se encuentran los casos de redes que tienen enlaces operando a 56 kbps (especialmente las redes que comenzaron a operar en las primeras etapas de explotación del sistema de satélites Morelos), lo cual nos lleva a

pensar que apesar de que estos usuarios estén pagando los derechos de utilización de enlaces a 64 kbps, sólo emplean 56 kbps por las limitaciones técnicas de los equipos con que se implementaron tales redes.

También debe mencionarse que dada la gran diversidad de estaciones remotas a enlazar en cada una de las redes privadas, se encuentra una gran variedad de utilización de diámetros de antena, lo que viene a respaldar la observación anterior en lo que a diversidad de tecnologías y componentes de implementación se refiere, y como veremos más adelante tiene un papel importante en el desempeño de las redes.

Por otra parte, debemos hacer la observación de que debido a la ubicación geográfica de las diversas estaciones así como las muy variadas regiones hidrometeorológicas en que éstas se encuentran, los niveles de confiabilidad tienen un amplio margen de variación, por lo que no se puede establecer un valor patrón de nivel de señal mínimo requerido (lo cual tiene un gran impacto en el cálculo del enlace así como en las comparaciones del desempeño de cada red). En seguida se confrontan las redes atendiendo a sus parámetros operativos contra los resultados obtenidos para optimización mediante el programa presentado en el capítulo II.

Así pues, de las redes estudiadas sólo la casa de bolsa **Multivalores** reportó problemas de pérdida de sincronía por lluvia con caídas de señal que causan interrupciones en el servicio de 15 a 20 minutos. En este sentido, si se observa la tabla 4.18 del capítulo IV, es fácil notar que los diámetros de antenas de **Multivalores** son los más pequeños; de sólo 1.8 m. de diámetro; en cambio, la casa de bolsa **Arka** transmite con potencias desde 0.55 W hasta 1.93 W pero con diámetros de antena de 2.4 m. más aun, si se compara el margen de confiabilidad por lluvia que utiliza **Multivalores** (99.50%) con los del resto de las redes (que llegan a ser hasta del 99.99%), se notan claramente los motivos de las interrupciones en el servicio.

Sin embargo, cabe indicar que en otras de las redes estudiadas también se llegan a presentar caídas de señal ocasionales (como en **Ahaco**) pero no representan un grave problema en virtud de que se deben a los equinoccios, y de esta manera pueden prevenirse sus efectos para no alterar significativamente el desempeño de la red.

En contraste con la fiabilidad de la operación de redes vía satélite, la mayoría de las instituciones consultadas optaron por respaldar su tráfico de voz y datos con servicio de microondas dada la importancia que reviste la adecuada transferencia de información (en su mayor parte financiera). La única excepción en lo que a contar con un servicio de respaldo se refiere, es el Instituto Tecnológico de Monterrey, el cual no cuenta con una alternativa de respaldo distinta a la red vía satélite.

En otro orden de ideas, y de acuerdo a la teoría expuesta en el capítulo III, analizando la tabla 4.18 del capítulo IV, se observa claramente como las técnicas de acceso se ajustaron al volumen de tráfico cursado así como el número de estaciones para cada red.

Es muy importante recalcar el hecho de que al utilizar técnicas de modulación QPSK (que sólo requieren la mitad del ancho de banda que se utiliza para BPSK), es de particular interés el considerar que para casi todas las redes punto a punto estudiadas se encontraron enlaces a 128 kbps y no a 64 kbps. (El doble de algunos casos de enlaces para configuraciones estrella ó malla).

Un parámetro que fué común en su valor a todas las redes analizadas (sin importar el tipo de enlace o a qué velocidad se efectúa) es la tasa de bits de error, siendo BER igual a 10^{-7} debido principalmente a las limitaciones impuestas por el umbral del modem en la estación terrena receptora. Recuérdese que en el capítulo II ya se vió la importancia que tiene este valor, puesto que es lo que nos fija la relación portadora a densidad de ruido C/N_0 , misma que ha de considerarse como el punto de partida para el cálculo de los parámetros de una red de voz y datos vía satélite. Además, nótese como en los casos en que se empleó una FEC fué siempre de 1/2.

En lo concerniente a la potencia requerida por portadora para el HPA en los diferentes enlaces, es posible apreciar diferencias sustanciales entre las diversas redes dependiendo del margen de confiabilidad empleado así como del diámetro de las antenas. Con esta intención, podemos observar de la tabla 4.18 que mientras Multivalores requiere potencias de hasta 2.03 W con antenas de 1.8 m, Chrysler demanda 0.1 W con 2.4 m de diámetro con la misma configuración de red, mismo tipo de

Conclusiones y Perspectivas

modulación, misma técnica de acceso, igual margen de confiabilidad e idéntica velocidad de transmisión.

No ocurre lo mismo para el Banco del Atlántico, ya que éste utiliza potencias de 1.5 W pero con margen de confiabilidad que es de 99.80% con todas las otras características idénticas.

Para el caso de Telenales, las potencias llegan a alcanzar 4.24 W considerando una confiabilidad del 99.90% y con antenas de 2.4 m, 4.5 m y 6.1 m de diámetro.

El caso más representativo en cuanto a potencias requeridas mayores lo constituye la red de Banamex en virtud de que aún manejando antenas desde 1.8 m, 3.6 m, 4.5 m y 7.6 m, su margen de confiabilidad es el mayor posible, o sea, el 99.99%, lo cual si bien es sumamente eficiente, resulta muy costoso.

De acuerdo a lo comentado en las anteriores líneas, es evidente que una combinación balanceada entre el margen de confiabilidad y los diámetros de las antenas puede producir regulares requerimientos de potencia con grados de eficiencia sumamente aceptables.

Comparando ahora el desempeño de las redes en cuanto a sus actuales valores operativos con respecto a los valores optimizados, podemos emitir las siguientes observaciones:

Para los 5 cálculos de Inverlat los valores estimados de potencia son menores que los operativos para el caso sin lluvia, lo que es más, en 3 de sus 5 casos (México - Monterrey, México - Tijuana, México - Guadalajara) los valores estimados de potencia con lluvias son menores que los valores operativos sin ese efecto hidrometeorológico. Si a esto agregamos que Inverlat no reportó caídas de señal importantes (Si acaso algunas de 5 minutos en Agosto de 1989) podemos entonces afirmar que sus enlaces están sobrados en las potencias requeridas por portadora. Ahora bien, aunque en otros 2 cálculos (Guadalajara - México, Monterrey - México) la potencia estimada con lluvia no es menor que la operativa sin lluvia, no excede tampoco a los valores que Inverlat consideró para el caso de precipitación. De hecho, la diferencia entre los valores operativos y los

estimados u optimizados va desde los 0.007 W hasta los 0.471 W.

Para el caso de Banamex 6 de los 8 cálculos tuvieron diferencias sustanciales entre potencias operativas y estimadas con valores que van desde los 0.233 W hasta los 3.23 W. Valores tan altos son fácilmente explicables si consideramos que Banamex tiene confiabilidades del 99.99% lo cual, si bien incrementa la eficiencia de la red, también eleva los requerimientos de potencia y el costo del segmento terrestre.

Por lo que a Abaco corresponde, la diferencia en los valores de potencia fue de 0.166 W y 0.628 W para los casos de Monterrey - Guadalajara y México - Guadalajara respectivamente. Al no reportar problemas por lluvia esta red evidencia que sus enlaces también están algo excedidos en potencia, lo que les garantiza la continuidad que han tenido en el servicio de sus transmisiones.

Para el caso de Arka, las potencias operativas con respecto a las estimadas mediante optimización difieren en 1.77 W y 0.206 W para los enlaces de México - Monterrey y Monterrey - México respectivamente.

En **Multivalores**, para el enlace México - Monterrey la diferencia de potencia es de 0.592 W en tanto que para el enlace México - Guadalajara fue de 1.097 W pero, en este caso, la variación es contraria a la esperada; es decir, al optimizar los parámetros de este enlace como $(C/N_0)_{\text{m}}, (C/N_0)_{\text{a}}$ y $(C/N_0)_{\text{m}}$ resulta que el cociente $(C/N_0)_{\text{m}}/(C/N_0)_{\text{a}}$ es mayor aunque por muy poco, con respecto al mismo cociente cuando se utilizan sus parámetros operativos, lo cual nos llevaría a pensar que se trata de un enlace subdimensionado, lo cual es congruente con los reportes de interrupciones por lluvia.

Por otra parte, cabe indicar que otro punto interesante de comparación sería el anteponer enlaces entre las mismas estaciones terrenas (aún cuando se trate de enlaces entre diferentes usuarios ejemplo México - Monterrey de Banamex contra México - Monterrey de **Multivalores**) para así tener más claros los efectos de la velocidad de transmisión como también determinar qué esquema de modulación tiene más ventajas; cabe mencionar que los diámetros de las antenas utilizadas tienen también un papel importante, ya que al estar considerando los

mismos puntos geográficos (con coordenadas aproximadamente iguales) y con las mismas características de la región hidrometeorológicas a la que pertenecen se puede evaluar también qué efectos tiene el BACK - OFF, pues al comparar una red estrella con una punto a punto ésto es evidente.

En lo que respecta al resto de las memorias analizadas, podemos afirmar que los resultados obtenidos son lógicos considerando que tales memorias técnicas no estuvieron diseñadas en lo que a consumo de potencia se refiere, puesto que hay una serie de restricciones técnicas tales como los rangos de potencia que puede manejar un HPA, los diámetros "ESTANDARIZADOS" de las antenas disponibles comercialmente, el número de portadoras a utilizar (Casi siempre es múltiplo de 2 a la n), etc.

En el capítulo IV se describieron las redes privadas estudiadas y se comentó cuáles de esas redes tenían servicio de voz y cuales no lo poseían. En este sentido hacemos notar que por haber transcurrido ya algunos meses desde la recopilación de la información hasta la conclusión de este estudio, es muy factible que algunas de las redes que no contaban con aquél servicio ya lo hayan incorporado en virtud de que, según lo expuesto, varias de las redes tenían la capacidad para incluirlo y algunas de ellas ya estaban en trámite.

Por otra parte, y en lo tocante al futuro de las redes privadas vía satélite en México, es prudente hacer algunas reflexiones ubicando las alternativas que podrían tener los usuarios de tales sistemas. En este sentido, y considerando que los propietarios de las redes privadas son "grandes usuarios" en transmisión de información, Teléfonos de México ha proyectado la "Red Superpuesta" cuya finalidad es la de dar servicio a éstos "grandes usuarios" mediante sistemas digitales, ya que la tendencia internacional en telecomunicaciones es incorporar el concepto de Red Digital de Servicios Integrados (RDSI) o Integrated Services Digital Network (ISDN). Este concepto está dirigido a los diferentes servicios de telecomunicaciones como son la voz, datos, facsimil y video en una sola red digital que ofrecerá mayores ventajas económicas y un mayor aprovechamiento de los recursos existentes.

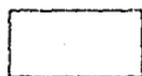
Sin embargo, a pesar de los esfuerzos de TELMEX por atraer usuarios a sus sistemas, las constantes y ya tradicionales deficiencias en los

servicios que ofrece orillaron a la implementación de sistemas satelitales y microondas privados por parte de aquellos "grandes usuarios". Con esta tónica resulta difícil suponer que las redes privadas existentes tengan intención de integrarse a la "Red Superpuesta" como soporte principal, en virtud de que la operación de las redes ha mostrado robustez y fiabilidad. Aún más, desde el momento en que la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) autorizó la implantación de redes privadas vía satélite (en 1987), la evolución de estos sistemas no se ha detenido y una evidencia de ello es que el satélite Morelos I ya trabaja a toda su capacidad y el Morelos II ya se comienza a utilizar comercialmente. De hecho, la mayor parte de los clientes potenciales de la "Red Superpuesta" de TELMEX ya poseen sus propios sistemas de comunicaciones lo cual minimiza la importancia de tal alternativa para ellos, deduciéndose entonces que las redes privadas no caducarán con la opción que ofrece TELMEX aunque, sí probablemente, la tasa de crecimiento tienda a disminuir en el mediano plazo. Todo esto no significa que la "Red Superpuesta" vaya a quedar ociosa ya que, de entrada, los grandes usuarios tienen la intención de respaldar sus sistemas satelitales con aquella alternativa y aunque no haya nada escrito todavía, es probable que con el paso del tiempo en algunos casos se invirtieran los papeles; esto es que la "Red Superpuesta" pase a ser el soporte principal y la red privada satelital sea el de respaldo. Naturalmente cabe también la posibilidad de que esto no ocurra ya que la experiencia a demostrado que la creación de nuevos sistemas no implica el desplazamiento de lo ya existente; antes bien sugiere un estado complementario entre las diversas alternativas. En esencia la "Red Superpuesta" es la única alternativa robusta para los usuarios de redes privadas satelitales ya que, aunque existen las microondas, la mayoría de los grandes usuarios han hecho uso de ese sistema y lo siguen haciendo pero sólo como respaldo dada la congestión en el tráfico por este medio. De acuerdo a los conceptos vertidos en las líneas anteriores, se puede intuir que la alternativa que ofrece TELMEX no alterará en mucho a las redes satelitales privadas ya existentes pero seguro es que sí tendrá gran impacto en los sistemas de telecomunicaciones que se proyecten en el futuro.

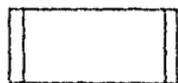
Obviamente esto se dará en forma paralela con la introducción de la siguiente generación de satélites mexicanos (ya en puerta) ya que, en conjunto, harán del país una nación más sólida e independiente en materia de telecomunicaciones.

APENDICE A:

Simbología empleada en el diagrama de flujo:



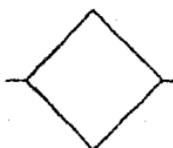
Operación matemática



Subrutina



Datos de Entrada/Salida



Condición



Conector

BIBLIOGRAFIA

Digital Communications by Satellite

Vijay K. Bhargava, David Haccoun, Robert Matyas,
Peter P. Nuspl.

Editorial: John Wiley and Sons, 1981

Radiowave Propagation in Satellite Communications

Louis J. Ippolito.

Editorial: Van Nostrand Reinhold, 1987.

Satellite Communications

Robert M. Gagliardi.

Editorial: LifeTime Learning Publications, 1985

Satellite Communication Systems Engineering

Wilbur L. Pritchard, Joseph A. Sculli.

Editorial: Prentice Hall, 1986.

Telecommunications Transmission

Roger L. Freeman.

Editorial: John Wiley and Sons, 1985.

Transmisión de Información, Modulación y Ruido

Misha L. Schwartz.

Editorial: Mc Graw Hill, 1985.

Curso de Telecomunicaciones Vía Satélite.
División de Educación Continua F.I.
UNAM, junio 1988.

**Especificaciones y Recomendaciones Técnicas
Operacionales para Sistemas de Red Accesando al Sistema
de Satélites Morelos.**
Dirección de Sistemas de Satélites Nacionales
Febrero 1988.

Manual sobre Telecomunicaciones por Satélite.
Servicio Fijo por Satélite.
U.I.T. (CCIR), Ginebra 1985.

Morelos Satellite System Summary.
Hughes Aircraft Company.
1983.

**Optimización de los Parámetros de Enlace para Transmisión
y Recepción de Datos Vía Satélite. (Tesis UNAM, F.I.)**
Guillermo Rojas Reyes, Jorge Takumaga Flores, Facundo Valdéz
Pedroza.
1988.

Seminario de Comunicaciones Espaciales.
C.I.M.E.
México, Octubre 1986.

Sistema de Comunicaciones Espaciales.
Miguel Angel Méndez Morales, Jesús Bocerril Almanza.
Revista Teledato.
Obra 223, XIII-1986, Publicaciones Teleco.mex.
Num. 40.

**Transmisión de Datos Vía Satélite Morelos I. (Tesis UNAM.
F.I.)**
Luis Eduardo del Río de Hoyos, Silvia Mercado Chávez.
1988.