

136  
2ej.



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

Diseño de un Sistema de Comunicaciones  
Móviles Vía Satélite para los Concesionarios  
de General Motors de México

T E S I S  
Que para obtener el título de  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA AREA  
ELECTRICA - ELECTRONICA  
p r e s e n t a  
A D O L F O P A L M A M A Y A



Director de Tesis: M.J. VICTOR MANUEL TORRES GODINEZ

Ciudad Universitaria

1997

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

**A mis padres...**

**GRACIAS,**

**A Dios, por permitirme conseguir esta meta.**

**A mis padres, por darme todo lo necesario para buscar el éxito en la vida.**

**A mi familia, siempre unida y solidaria.**

**A mis amigos, por todos los momentos compartidos.**

**A mis maestros, por el conocimiento y la experiencia transmitida.**

**También quiero agradecer de manera especial a las siguientes personas,**

**Benito Enrique Pérez Valencia.  
Enriqueta Pacheco Quiroz.  
Fernando Solórzano Palomares.  
José Francisco Viveros Roa.  
Juan Vicente Leduc Rubio.  
Karen Sigmond Ballesteros.  
Mauro Pérez Santos.  
Miguel Moctezuma Flores.  
Takashi Ota Numata.  
Victor Garcia Garduño.  
Victor Manuel Torres Godinez.**

## ÍNDICE TEMÁTICO

	página
1.- Antecedentes.	1
1.1 Requerimientos de GMM.	1
2.- Antecedentes de las comunicaciones vía satélite.	3
2.1 Desarrollo de las comunicaciones por satélite.	3
2.2 Posicionamiento del satélite en la órbita geoestacionaria.	6
2.2.1 Inyección directa en órbita geoestacionaria.	6
2.2.2 Inyección inicial en órbita elíptica.	6
2.2.3 Inyección inicial en órbita circular baja.	7
2.3 Ganancia de una antena parabólica.	8
2.4 Potencia Isotrópica Radiada Efectiva (PIRE)	11
2.5 Relación de Ganancia de Antena/Temperatura de ruido (G/T).	12
2.6 Relaciones Portadora a Ruido ( $C/N_0$ , $E_b/N_0$ ).	18
2.7 Modulación Digital.	20
2.7.1 Señalización por doble corrimiento de fase (BPSK).	21
2.7.2 Señalización por corrimiento de fase cuaternaria (QPSK).	25
2.8 Corrección de errores en la modulación digital.	30
2.8.1 <i>FORWARD ERROR CORRECTION</i> (FEC).	32
2.9 Técnicas de acceso al satélite.	35
2.9.1 Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA).	35
2.9.2 Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA)	39
2.9.3 Acceso Múltiple de Asignación por Demanda (DAMA).	41
2.10 <i>Throughput</i> digital.	42
2.11 La fórmula <i>B</i> de Erlang.	44
3.- Descripción del sistema.	50
3.1 Funciones Básicas.	51
3.2 Descripción general de los elementos del sistema.	52
3.2.1 Componentes principales del sistema	52
3.2.2 Configuración del sistema.	53
3.3 Capacidad.	57
3.4 Control de comunicaciones, acceso y señalización.	57
3.4.1 Descripción de la comunicación en el sistema.	61
3.4.2 Canales de señalización	65
4.- Características del segmento espacial y cobertura del sistema de satélites solidaridad.	73
4.1 Arco orbital geoestacionario.	73
4.2 Características generales de los Satélites Solidaridad.	73
4.3 Características de la banda C.	77
4.4 Características de la banda Ku.	79

4.5 Características de la banda L.	81
4.5.1 Funcionamiento.	81
4.5.2 Características generales de la antena de banda L en el satélite.	82
5.- Centro de control del sistema.	83
5.1 Estación de administración del sistema (NMS).	83
5.1.1 Funcionalidad del NMS.	85
5.1.2 Monitoreo del sistema.	86
5.1.3 Control del sistema.	87
5.1.4 DAMA para los servicios de telefonía.	87
5.1.5 Enrutamiento de mensajes.	87
5.1.6 Generación de historial.	88
5.1.7 Determinación del estado de operación del NMS y configuración de redundancia.	88
5.1.8 MODEM's TDM/TDMA para señalización.	88
5.2 Estación Terrena de Interconexión (GW).	89
5.3 Sistema con equipamiento para RF/FI.	89
5.3.1 Descripción de los subsistemas de RF/FI.	90
5.3.1.1 Subsistema para banda Ku.	90
5.3.1.2 Subsistema para banda L.	99
5.3.1.3 Subsistema de frecuencia intermedia (FI).	106
5.3.2 Subsistema de Compensación Automática de Frecuencia (AFC).	108
6.- Estaciones terrenas de interconexión.	113
6.1 Funcionalidad de la Estación Terrena de Interconexión.	114
6.1.1 Partición de la Estación Terrena de Interconexión.	114
6.1.2 Procesadores remotos.	115
6.1.3 Interfaz del usuario.	115
6.1.4 Unidades de canal.	115
6.1.5 Unidades AFC de entrada y salida ( <i>inbound &amp; outbound</i> ).	116
6.1.6 Subsistemas de Radio Frecuencia.	116
6.1.7 Unidad auxiliar de interfaces (AIU).	116
6.1.8 Operación.	117
6.1.9 Distribución de FI.	117
6.2 Procesadores de la Estaciones Terrenas de Interconexión.	118
6.2.1 Procesador Concentrador Remoto (RPC).	118
6.2.2 Procesador Distribuidor Remoto (RPD).	118
6.2.3 Procesador de Supervisión Remota (RPS).	119
6.2.4 Grupos Funcionales de Programas (SFG).	119
6.2.4.1 Programas RPC de la Estación Terrena de Interconexión.	119
6.2.4.2 Programas RPD de la Estación Terrena de Interconexión.	120
6.2.5 Estrategias para el caso de fallas.	120

<b>7.- Estaciones terminales del usuario.</b>	<b>122</b>
<b>7.1 Funcionamiento general del NEC S1.</b>	<b>122</b>
7.1.1 Construcción.	123
7.1.2 Especificaciones mecánicas generales del S1.	124
7.1.3 Especificaciones ambientales generales.	124
7.2 Terminal Móvil.	124
7.3 Terminal Transportable.	126
7.4 Terminal Fija.	129
7.5 Terminal Marina.	132
<b>8.- Costos del sistema (estimados).</b>	<b>134</b>
<b>9.- Conclusiones.</b>	<b>136</b>
<b>10.- Bibliografía.</b>	<b>139</b>
<b>Glosario de Términos.</b>	<b>140</b>

## 1. ANTECEDENTES

### 1.1 Requerimientos de GMM.

El motivo de la propuesta tecnológica que se desarrolla en esta tesis, es establecer una solución al problema de integrar en una red de comunicaciones eficiente, tanto a todas las unidades móviles de GMM como a los elementos fijos que operan en todo el país.

La infraestructura de GMM consta de las siguientes categorías de elementos:

- Elementos fijos permanentes como oficinas corporativas, plantas ensambladoras, agencias de ventas, y centros de servicio y mantenimiento de gran capacidad de atención. Actualmente se tienen tres principales plantas de GMM, localizadas en: Toluca, Silao y Ramos Arizpe. Toluca es la planta en la que se construyen los motores de autos y camiones, mientras que Silao y Ramos Arizpe son plantas de ensamble de autos, camiones y camionetas. Las Oficinas Corporativas se encuentran ubicadas en la Ciudad de México.

Todos estos elementos se encuentran comunicados actualmente por medio de varios tipos de tecnologías, como es el caso de enlaces de fibra óptica y enlaces satelitales, etc. Aunque en su mayoría son enlaces terrestres.

- Elementos fijos de permanencia condicionada. Este tipo de elementos son por ejemplo, las agencias de ventas y los centros de servicio y mantenimiento de poca capacidad; cuya ubicación depende de la demanda de servicio en la región.

Estos elementos, actualmente concentran su tráfico de información en las oficinas más importantes de la zona por medio de enlaces de radio UHF, líneas privadas y líneas conmutadas, etc. Una vez concentrada la información, se envía hacia las oficinas corporativas o hacia las plantas ensambladoras para su procesamiento.

- Elementos móviles. Estos elementos son los camiones que transportan las unidades que salen de las plantas ensambladoras hacia los puntos de venta, las unidades que transportan refacciones, las unidades que transportan materia prima y todas las unidades que brindan apoyo al cliente en las carreteras por medio del programa Asistencia en el Camino.

Todos estos elementos, actualmente se comunican por medio de radios de banda civil y telefonía celular. Sobre decir que la información que debe ser transferida hacia los centros de procesamiento y despacho para la elaboración de informes y estadísticas, llega con alguna diferencia de tiempo una de otra y con el retraso inherente al proceso de concentración de la información.

GMM ha manifestado su deseo de tener una infraestructura tecnológica que le permita agilizar sus operaciones, y tener una mejor comunicación con sus proveedores y concesionarios.

Actualmente GMM espera tener una propuesta en la que se explique de qué manera se puede ofrecer lo que de alguna manera espera.

Esta tesis contempla un estudio tecnológico basado en sistemas móviles vía satélite.

Esta propuesta tecnológica considera el uso de la banda L que tiene el Sistema de Satélites Solidaridad, como el medio óptimo para resolver las necesidades de integración de la información que genera y procesa GMM.

Se plantea la instalación de sistemas de comunicación móvil vía satélite en todos los elementos móviles que se desplazan por todo el país. Dadas las características de los equipos, podrá ser posible que desde cualquier punto de ubicación, las unidades móviles envíen y/o reciban mensajes de voz, FAX, datos y boletines de información, los cuales pueden ser procesados de manera casi inmediata para la actualización de inventarios, estadísticas e incluso conocer la ubicación de los elementos móviles.

El resultado de la implementación de este sistema se podrá ver reflejado en la actualización casi inmediata de los inventarios, conocer la ubicación de los elementos de transporte para aumentar la seguridad de la carga y el personal, y supervisar el desarrollo del viaje durante toda la ruta; en cuanto a los elementos que prestan servicio en el programa de apoyo al cliente (Asistencia en el Camino), se podrá conocer la ubicación de cada uno de los elementos y se podrá actualizar de manera casi inmediata, la base de datos de las estadísticas del programa.

Otro factor importante es el hecho de que se puede contar con una red telefónica privada que abarque a todos los elementos de GMM, logrando con esto el abatimiento de los costos por llamadas de larga distancia.

Esta propuesta contempla el uso de tres tipos de terminales para el usuario:

- Las terminales móviles, (MT)
- Las terminales semifijas o transportables
- Las terminales fijas

En los capítulos siguientes se hablará de las características de cada una de ellas, así como también de la estación principal (Estación Maestra) y de las Estaciones Terrenas de Interconexión.

## 2. Antecedentes de las comunicaciones vía satélite.

En este capítulo se mencionarán algunos conceptos que se usan de manera fundamental en los sistemas de comunicación vía satélite y específicamente en el sistema propuesto.

En solamente un cuarto de siglo desde su comercialización, el desarrollo de las comunicaciones vía satélite, ha convertido el uso de este recurso en algo muy familiar en nuestras vidas. El desarrollo de la comunicación vía satélite se ha movido a los principales medios de interconexión.

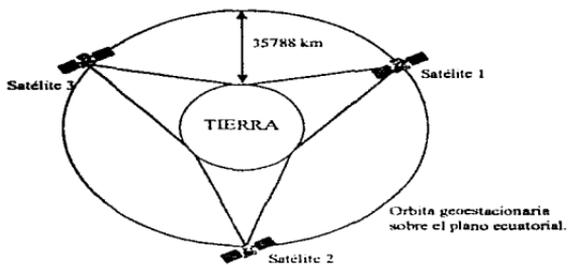
Los satélites ofrecen la posibilidad de interconectar a varios usuarios, sin importar su localidad o la distancia entre ellos. Gracias al desarrollo de nuevas técnicas de fabricación, las comunicaciones por satélite se pueden considerar como un medio comercialmente competitivo.

Los sistemas VSAT, como sistemas de comunicación directa y los servicios de **comunicación móvil vía satélite**, son solo ejemplos típicos de las nuevas aplicaciones, que hacen uso de las características especiales de las comunicaciones por satélite.

### 2.1 Desarrollo de las comunicaciones por satélite.

Después de muchos estudios, en 1945 Arthur C. Clarke publicó en un artículo, la posibilidad de colocar satélites artificiales en una órbita tal que al observarlos desde un punto sobre la Tierra pareciera que no se moviesen; entre otras ventajas, destacaban la posibilidad de comunicar casi la totalidad del mundo habitado con solo tres satélites colocados en puntos adecuados sobre esta órbita (como se ilustra en la figura 2.1), otra ventaja era la simplificación de la operación y la reducción del costo de los equipos para operarlos desde la Tierra.

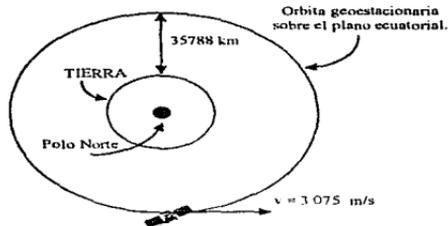
Los satélites que cumplen con los requerimientos analizados por Clarke se les conoce como **geostacionarios**. Los requerimientos son los siguientes, en primer lugar, el satélite debe desplazarse en el mismo sentido de rotación de la Tierra; además, para que no pierda altura y cumpla una vuelta completa cada 24 horas, debe estar colocado aproximadamente a 35 788 km de altura sobre el nivel del mar, con latitud cero y desplazarse a una velocidad constante de 3 075 m/s, siguiendo una órbita circular alrededor de la tierra, como se ilustra en las figuras 2.2a y 2.2b.



[figura 2.1 : el cinturón de Clarke]



[figura 2.2a : características de los satélites geostacionarios]



[figura 2.2b : características de los satélites geoestacionarios]

#### VENTAJAS DE LAS ÓRBITAS GEOESTACIONARIAS

- Se reduce el costo de los equipos de rastreo y control.
- Se reducen el costo y la complejidad de las estaciones terrenas de operación.
- Las localidades dentro del área de cobertura son siempre las mismas.
- Un número reducido de satélites pueden proporcionar una cobertura casi global.

#### DESVENTAJAS DE LAS ÓRBITAS GEOESTACIONARIAS

- Las áreas que se encuentren en latitudes mayores a 81.50 grados Norte y Sur no son visibles por el satélite
- Debido a la gran distancia , la señal es atenuada alrededor de 200 dB, siendo del orden de 1 picowatt la intensidad de la señal recibida
- Existe un retardo en la transmisión de la señal debido a la distancia (270 ms aproximadamente)
- Los sistemas de lanzamiento son mas costosos

## **2.2 Posicionamiento del satélite en la órbita geostacionaria.**

Los métodos desarrollados para poner a los satélites en la órbita geostacionaria, están basados en las leyes de Isaac Newton que rigen la mecánica clásica y en las leyes de Kepler que explican el movimiento de los planetas alrededor del Sol.

En teoría, el número de tipos de órbita en los que un satélite se puede colocar alrededor de la Tierra es infinito, pero por obvias razones, la más codiciada y utilizada de todas las órbitas posibles es la geostacionaria. Para llevar al satélite a esa órbita tan especial existen tres procedimientos distintos, los cuales se describen a continuación.

### **2.2.1 Inyección directa en órbita geostacionaria.**

En este caso, el satélite es transportado por un cohete de varias etapas hasta el cinturón de Clarke, sin que éste necesite realizar esfuerzos propios, lo que en cambio si es necesario en los otros dos procedimientos que se explican mas adelante.

La inyección directa en órbita geostacionaria es muy costosa y sólo se utiliza para lanzar satélites militares, como el satélite no realiza esfuerzos propios, es decir, no lleva motores acoplados directamente a él para pasar de una órbita a otra, aumenta la probabilidad de que llegue a su destino sin contratiempos o complicaciones. El cohete Titanic IIC (USA), es un ejemplo de lanzador que puede emplearse con este fin.

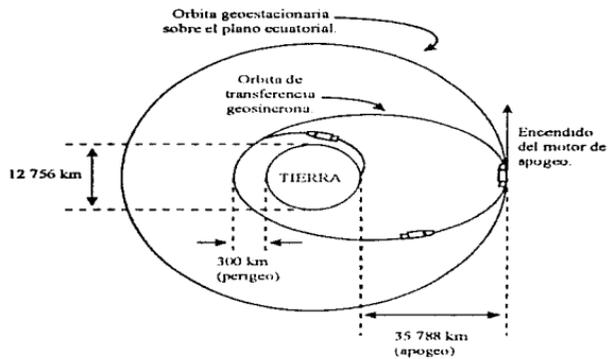
### **2.2.2 Inyección inicial en órbita elíptica**

En este procedimiento las etapas del sistema lanzador colocan al satélite en una órbita elíptica de gran excentricidad, (muy alargada), en la que el centro de la Tierra es uno de los dos focos. Una vez ahí, el satélite se separa del cohete y da una o varias vueltas en esa órbita, llamada de transferencia geosíncrona, hasta que se lleva a cabo la siguiente etapa del proceso, ya con esfuerzos propios del satélite.

El perigeo de la órbita de transferencia geosíncrona esta normalmente a una altura aproximada de 200km sobre el nivel del mar y su apogeo cerca de los 35,788km que es la altura final en la que el satélite debe quedar para funcionar.

El paso siguiente es circularizar la órbita y para ello el satélite lleva acoplado un motor que se enciende en el punto de apogeo de la última vuelta elíptica que se haya programado; obviamente, el encendido del motor se efectúa después de haber orientado al satélite a control remoto en forma adecuada, para que el empuje del motor de apogeo resulte en la dirección

correcta. Al encenderse el motor de apogeo, el satélite recibe un incremento sustancial de velocidad y su órbita cambia pasando de la elíptica de transferencia geosíncrona a la circular geostacionaria. Los lanzadores Ariane de la Agencia Espacial Europea, comercializados por Arianespace, así como los cohetes Delta y Atlas-Centauro (USA), entre otros, operan bajo los principios de esta segunda técnica. (fig. 2.3)



[figura 2.3 : ejemplo de posicionamiento del satélite en órbita geostacionaria]

2.2.3 Inyección inicial en órbita circular baja.

Esta es la técnica empleada por el Sistema de Transportación Espacial de la NASA (USA), mejor conocida como técnica de orbitador, consiste de tres pasos, los dos últimos son idénticos al caso anterior (de inyección inicial en órbita elíptica), y el primer caso se describe a continuación.

El orbitador despega llevando al satélite en su compartimento de carga y entra en órbita alrededor de la Tierra siguiendo una trayectoria circular, a una altura aproximada de 300km sobre el nivel del mar. En una de las muchas vueltas que da la nave, el satélite es liberado o arrojado del compartimento de carga, quedando de esta forma en órbita circular baja alrededor de la Tierra, aunque separado del vehículo espacial, la velocidad inicial del satélite es la misma que la de la nave, aunque ligeramente modificada por efecto de los resortes que se emplean para arrojarlo del compartimento de carga

La separación se efectúa cuando la nave va cruzando el plano del ecuador, y cuarenta y cinco minutos más tarde, cuando el satélite vuelve a cruzar el plano del ecuador, se enciende el motor de perigeo. Este motor le da un empuje tal que modifica su órbita, cambiándola de circular baja o de estacionamiento a una elíptica, similar a la del caso explicado anteriormente. Una vez que ha cumplido su función, el motor de perigeo se desprende del resto del cuerpo del satélite, dando así las condiciones adecuadas para que, más adelante y en el momento preciso, un motor de apogeo acoplado al cuerpo del satélite se encienda para circularizar la órbita con su altura final.

En realidad el procedimiento para colocar un satélite en órbita geostacionaria no es tan simple como parece ser de acuerdo con los tres métodos descritos. No solamente hay que proporcionarle los cambios o incrementos de velocidad al satélite para modificar la geometría de las órbitas que formen parte del procedimiento elegido, sino que al mismo tiempo hay que lograr pasarlo de un plano a otro, y todo ello haciendo el menor consumo de energía (combustible) para reducir los costos de lanzamiento.

En el capítulo 3 se hablará específicamente de las características del Sistema de Satélites Solidarios y se hará una comparación con sus predecesores los Satélites Morelos.

A continuación, como parte de este capítulo de antecedentes, se describen los parámetros más significativos que intervienen en un sistema de enlaces vía satélite.

### 2.3 Ganancia de una antena parabólica.

La ganancia de la antena es uno de los parámetros principales para el desempeño de una estación terrena porque afecta directamente la potencia de las portadoras ascendentes y descendentes.

La ganancia para una antena parabólica está dada por:

$$G = \eta [(4\pi A) / \lambda^2] = \eta [(4\pi A f^2) / c^2]$$

donde:

- A = área de la apertura de la antena ( $m^2$ )
- $\lambda$  = longitud de onda de la señal radiada (m)
- f = frecuencia de la señal radiada (Hz).
- c = velocidad de la luz =  $2.997925 \times 10^8$  m/s
- $\eta$  = eficiencia de apertura de la antena ( $\eta < 1$ ).

Para una antena de apertura circular, el área está dada por:  $A = (\pi D^2)/4$ , por lo tanto

$$G = \eta [(\pi D/\lambda)]^2 = \eta [(\pi D)/c]^2$$

donde  $D$  = diámetro de la antena (m).

La eficiencia de la antena ( $\eta$ ) representa el porcentaje del área de apertura ( $A$ ) que es usado efectivamente en transmisión o recepción, y es el producto de varios factores de eficiencia que reducen la ganancia de la antena. Los factores de eficiencia típicos para una antena Cassegrain son:

$$\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 \eta_5 \eta_6$$

donde:

$\eta_1$  = eficiencia de iluminación del reflector principal.

$\eta_2$  = eficiencia de derramamiento

$\eta_3$  = eficiencia de fase

$\eta_4$  = eficiencia de bloqueo del subreflector y su estructura de soporte.

$\eta_5$  = eficiencia de disipación del sistema de alimentación.

$\eta_6$  = eficiencia de tolerancia de la superficie del reflector.

La eficiencia de iluminación ( $\eta_1$ ) esta determinada por la característica de la distribución del campo a través de la apertura del reflector. Si ésta es uniforme sobre la totalidad del área de apertura, entonces  $\eta_1 = 1$

La eficiencia de derramamiento ( $\eta_2$ ) no solamente representa la energía derramada sobre la orilla del reflector principal, sino también representa a la energía derramada sobre la orilla del subreflector. Para eliminar las pérdidas por derramamiento, se recomienda el uso de un alimentador que tenga lóbulos laterales bajos en su patrón de radiación. Para lograr este patrón, se usan múltiples modos de diseño para la sección de la unidad de radiación alimentadora, la cual es una corneta. Además, el ángulo de alimentación proporcionado por el subreflector, se elige para que el lóbulo principal del patrón de radiación intersece al subreflector en un nivel bajo, minimizando con ésto que el derramamiento del lóbulo principal alimentado pase al subreflector.

Sin embargo, la baja iluminación de la orilla del subreflector normalmente resulta en una iluminación drásticamente disminuida en toda la apertura del reflector principal, dando como consecuencia una baja eficiencia de iluminación ( $\eta_1$ ).

En una antena Cassegrain esta condición puede ser mejorada substancialmente por medio de alterar deliberadamente el contorno del subreflector para distribuir la energía esencialmente uniforme cerca de la orilla del reflector principal. Una eficiencia de iluminación ( $\eta_1$ ) de 0.94 a 0.96 se puede obtener en la práctica con una eficiencia de derramamiento del reflector principal de hasta 0.99. Con un buen diseño de alimentador, se puede obtener una eficiencia de

derramamiento en el subreflector de hasta 0.98. De esta manera podemos lograr una eficiencia de derramamiento  $\eta_2 = 0.97$  en un buen sistema.

Distorsionando el contorno del subreflector para lograr una iluminación uniforme en el reflector principal, da como consecuencia que un error de fase se introduzca en el reflector principal. Este ruido de fase provoca que la energía sea radiada en direcciones no deseadas, disminuyendo con esto la ganancia y aumentando los lóbulos laterales de la antena. La eficiencia de fase ( $\eta_1$ ) representa esta pérdida en ganancia, gran parte esta pérdida puede ser eliminada por medio de remodelar el reflector principal para corregir el error de fase. En una antena Cassegrain bien diseñada, la eficiencia de fase ( $\eta_1$ ) puede estar en el orden de 0.98 y 0.99 para la operación en la frecuencia de diseño y permanecer en el orden de 0.95 en el 70% de la banda de operación de 500 MHz.

El bloqueo de la apertura del reflector principal causado por el subreflector y su estructura de soporte, da como resultado una apertura disminución en la apertura efectiva causando una pérdida en la ganancia de la antena. La eficiencia de bloqueo del subreflector ( $\eta_4$ ) es aproximadamente 0.97 y esta sumada a la de la estructura de soporte da como resultado 0.95 en una antena bien diseñada.

Las pérdidas por disipación en el sistema de alimentación también reducen la ganancia de la antena. Dependiendo de la estructura del sistema de alimentación la eficiencia ( $\eta_5$ ) puede llegar hasta el valor de 0.94

Todos los factores de eficiencia citados anteriormente, dependen principalmente de la geometría del subreflector y reflector principal, de la estructura del sistema de alimentación pero no así de la frecuencia de operación.

En la práctica, el reflector principal y el subreflector no pueden ser construidos según los modelos ideales, debe de tomarse en cuenta alguna tolerancia de superficie. Lo anterior da como resultado una dispersión de energía en direcciones no deseadas de manera similar a lo asociado con el error de fase.

La tolerancia de superficie puede ser considerada como un tipo especial de error de fase, el cual limita la máxima ganancia obtenible ( $G_M$ ); de tal manera que para una tolerancia de superficie y un diámetro de antena, incrementando la frecuencia de operación se incrementa la ganancia de la antena hasta que ésta iguale el valor  $G_M$  y si se sigue incrementando la frecuencia de operación comenzará a disminuir la ganancia de la antena.

La eficiencia de tolerancia de superficie ( $\eta_6$ ) impone un límite superior a la frecuencia máxima de operación así como en la ganancia máxima de la antena. La eficiencia de tolerancia de superficie del reflector ( $\eta_6$ ) puede ser expresada como:

$$\eta_s = \exp \{ - [(4\pi\epsilon/\lambda)^2] \} = \exp \{ - [(\epsilon/D)^2 (4\pi fD/c)^2] \}$$

donde  $\epsilon$  = error rms de la superficie del reflector (m) y  $\epsilon/D$  = tolerancia de superficie de la antena. El factor  $(4\pi\epsilon/\lambda)^2$  es en efecto el cuadrado del error de fase principal introducido por el error de superficie  $\epsilon$ . La tolerancia de superficie de la antena  $\epsilon/D$ , está dentro de los rangos siguientes, para la tecnología comercial de fabricación:

$10^{-3} \leq \epsilon/D \leq 10^{-4}$	,	$D \leq 1.2 \text{ m}$
$2 \times 10^{-4} \leq \epsilon/D \leq 5 \times 10^{-5}$	,	$2.5 \text{ m} \leq D \leq 6 \text{ m}$
$10^{-4} \leq \epsilon/D \leq 2 \times 10^{-5}$	,	$9 \text{ m} \leq D \leq 24 \text{ m}$

#### 2.4 Potencia Isotrópica Radiada Efectiva (PIRE).

Para expresar la potencia transmitida por una estación terrena, un satélite o simplemente por una antena, normalmente se emplea el término de Potencia Isotrópica Radiada Efectiva (PIRE).

El PIRE de una estación terrena es simplemente la potencia generada por el amplificador de alta potencia (HPA) más la ganancia de la antena, tomando en cuenta la pérdidas en la línea de transmisión (guía de onda) que conecta la salida del HPA con el alimentador de la antena de la estación terrena.

Si denominamos a  $P_T$  como la potencia de entrada al alimentador de una antena y a  $G_T$  como la ganancia de la antena a la transmisión, el PIRE de una estación terrena estará dado simplemente por:

$$\text{PIRE} = P_T G_T$$

Consideremos por ejemplo un HPA de 2kW y una antena tipo Cassegrain de 20m de diámetro cuya ganancia de transmisión es de 66.82 dB operando a 14.25 GHz. Si asumimos que la pérdida en la guía de onda que conecta al HPA con el alimentador de la antena es de 1 dB, entonces el PIRE de la estación terrena en dBW es:

$$\text{PIRE} = 33 + 66.82 - 1 = 99.82 \text{ dBW}$$

Nota: Sabemos que  $P_T = 10 \log (2000) = 33 \text{ dBW}$ .

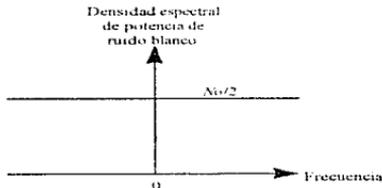
### 2.5 Relación de Ganancia de la Antena/Temperatura de Ruido (G/T).

La relación de Ganancia de la Antena/Temperatura de Ruido (G/T) es una figura de mérito usada comúnmente para indicar el desempeño de la antena de una estación terrena y del amplificador de bajo ruido (LNA) en relación a la sensibilidad al recibir la portadora descendente desde el satélite.

El parámetro G es la ganancia de la antena a la recepción, referida a la entrada del amplificador de bajo ruido. Por ejemplo, si la entrada del amplificador de bajo ruido se conecta directamente al puerto de salida del sistema de alimentación de una antena Cassegrain de 20m, la ganancia de la antena a 11.95 GHz es de 65.53 dB. Si se usa una pieza de guía de onda, con pérdida de 0.53 dB, para conectar la entrada del amplificador de bajo ruido con el puerto de salida del sistema de alimentación; la ganancia de la antena a la recepción, referida a la entrada del amplificador de bajo ruido es simplemente de 65 dB.

El parámetro T se define como la temperatura de ruido del sistema de la estación terrena, referida también a la entrada del amplificador de bajo ruido. Como la ganancia de la antena se analiza en otra sección, en esta nos enfocaremos en la determinación de temperatura de ruido del sistema de la estación terrena (T).

El tratamiento de ruido en sistemas de comunicaciones está basado en una forma de ruido llamada *ruido blanco* cuya densidad espectral de potencia es  $N_0/2$ , como lo muestra la figura 2.4, y es plano sobre un gran rango de frecuencias.



[figura 2.4 : densidad espectral de potencia de ruido blanco]

El ruido blanco es caracterizado como un proceso Gaussiano aleatorio con un valor cero, y esto incluye ruido térmico producido por el movimiento aleatorio de los electrones en el medio conductor, así como también ruido solar y ruido cósmico.

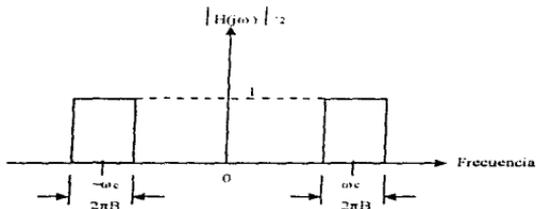
El ruido blanco corrompe la señal recibida de una manera aditiva y se le refiere normalmente como *ruido Gaussiano blanco aditivo* (AWGN) en los análisis de sistemas de comunicación. En los sistemas de comunicaciones eléctricos, la densidad espectral de potencia del ruido

blanco entregado a una carga conectada, desde una fuente de ruido, se expresa en watts por hertz (W/Hz) como sigue

$$N_0/2 = kT_s/2 \quad (9)$$

donde  $k$  es la constante de Boltzmann ( $1.38 \times 10^{-23}$  J/K) y  $T_s$  es la temperatura de ruido de la fuente de ruido medida en kelvins. Esto significa que, si esta fuente de ruido es conectada a la entrada de un filtro paso-banda ideal con ancho de banda  $B$  en hertz, (como lo muestra la figura 2.5), cuya resistencia de entrada se acopla a la resistencia de la fuente, la potencia de ruido de salida (en watts) está dada simplemente por

$$N = N_0B = kT_sB \quad (10)$$



[figura 2.5]

Dado que cualquier sistema pasivo o activo de dos puertos, como la guía de onda que conecta la entrada del amplificador de bajo ruido con el alimentador de la antena, y el amplificador de bajo ruido por sí mismo tienen ruido equivalente que contribuye al ruido proveniente de la antena, debemos tomar en cuenta sus efectos. Considerando un sistema de dos puertos con ganancia  $G$  y una fuente de ruido con temperatura  $T_s$  conectada a su entrada, la potencia de ruido de salida en un ancho de banda  $B$  (Hz) está dada por

$$N = GkT_sB + N_n \quad (11)$$

donde  $N_n$  es la potencia de ruido de salida producido por las fuentes internas de ruido en el sistema. La ecuación (11) puede escribirse como sigue

$$N = GkB [T_s + N_n / (GkB)] = GkB (T_s + T_e) \quad (12)$$

donde:

$$T_n = N_n / (GkB) \quad (13)$$

De la ecuación (12) se puede ver que  $N_n$  puede considerarse que es producida por una fuente ficticia de ruido con *temperatura de ruido equivalente*  $T_n$  conectada a la entrada del sistema. Por lo tanto concluimos que un sistema ruidoso de dos puertos puede ser caracterizado por su temperatura de ruido equivalente  $T_n$ . El parámetro  $T_n + T_o$  de la ecuación (12) se define como la temperatura de ruido del sistema referido a la entrada del sistema de dos puertos:

$$T = T_n + T_o \quad (14)$$

En otras palabras, podemos modelar un sistema ruidoso de dos puertos como un sistema de dos puertos sin ruido y cuantificar el incremento de ruido por medio de asignar a la entrada de la fuente de ruido, una nueva temperatura  $T$  más alta que la suma de  $T_n$  y  $T_o$ . Hay que notar que  $GT = G(T_n + T_o)$  es simplemente la temperatura de ruido medida a salida del sistema de dos puertos.

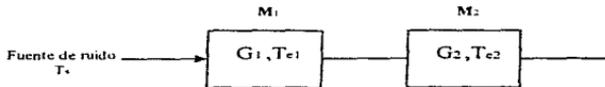
Otra medida del ruido interno generado por un sistema de dos puertos es la *figura de ruido*  $F$ , definida como la potencia de ruido de salida de un sistema dividida entre la potencia de ruido de salida si el sistema carece de ruido (esto es, que todas las fuentes de ruido interno están ausentes), asumiendo además que las fuentes de ruido a la entrada se encuentran a la temperatura ambiente  $T_o$  ( $T_o$  generalmente se toma como 290 K). De acuerdo con esta definición, la *figura de ruido*  $F$  es también la relación de la relación señal a ruido a la entrada del sistema con la relación señal a ruido a la salida del sistema. Entonces  $F$  es simplemente la relación de  $N$  en la ecuación (11), con  $T_n = T_o$  y cuando  $N_n = 0$ :

$$F = (GkT_oB + N_n) / GkT_oB = 1 + (T_n/T_o) \quad (15)$$

de (15) se puede ver que:

$$T_n = (F - 1) T_o \quad (16)$$

Ahora consideremos dos sistemas  $M_1$  y  $M_2$  con dos puertos cada uno y conectados en cascada como se muestra en la figura 2.6:



[figura 2.6]

Cada sistema  $M_i$  es caracterizado por su ganancia  $G_i$  y su temperatura de ruido equivalente  $T_{e_i}$ ,  $i=1,2$ . Se asume que la fuente de ruido a la entrada del sistema en cascada tiene una temperatura  $T_s$ . La potencia de ruido  $N_1$  a la salida del sistema  $M_1$  está dado por:

$$N_1 = G_1 k B (T_s + T_{e1}) \quad (17)$$

Esto es amplificado por  $M_2$  y aparece a su salida como:

$$N_{12} = G_1 G_2 k B (T_s + T_{e1}) \quad (18)$$

Entonces  $N_{12}$  es la potencia de ruido producida por fuente de ruido de entrada y la fuentes de ruido interno en  $M_1$ . De la ecuación (13) la potencia de ruido producida por las fuentes de ruido interno en  $M_2$  está dada por:

$$N_2 = G_2 k T_{e2} B \quad (19)$$

La potencia de ruido de salida total es simplemente la suma de  $N_{12}$  y  $N_2$ .

$$\begin{aligned} N &= N_{12} + N_2 = G_1 G_2 k B (T_s + T_{e1}) + G_2 k T_{e2} B \\ &= G_1 G_2 k B [T_s + T_{e1} + (T_{e2}/G_1)] \end{aligned} \quad (20)$$

Comparando (20) con (12) se puede ver que un sistema en cascada puede ser caracterizado por su ganancia  $\hat{G} = G_1 G_2$ , lo cual es obvio, y su temperatura de ruido equivalente será:

$$T_e = T_{e1} + (T_{e2}/G_1) \quad (21)$$

La ecuación (21) demuestra claramente la contribución del segundo sistema  $M_2$  en la totalidad de la temperatura de ruido. Se puede ver que, si la ganancia del primer sistema  $M_1$  es lo suficientemente grande ( $G_1 \gg T_{e2}/T_{e1}$ ), entonces el segundo sistema contribuye de manera despreciable a la totalidad de la temperatura de ruido. El resultado de la ecuación (21) puede generalizarse fácilmente para  $n$  sistemas en cascada

$$T_e = T_{e1} + T_{e2}/G_1 + T_{e3}/(G_1 G_2) + \dots + T_{en}/(G_1 G_2 \dots G_{n-1}) \quad (22)$$

Usando la ecuación (15), la figura de ruido de  $n$  sistemas en cascada puede ser expresada como:

$$F = F_1 + (F_2 - 1)/G_1 + (F_3 - 1)/G_1 G_2 + \dots + (F_n - 1)/(G_1 G_2 \dots G_{n-1}) \quad (23)$$

Antes de proceder a una evaluación de la temperatura de ruido de un sistema de una estación terrena, referida a la entrada del amplificador de bajo ruido, haremos la siguiente observación

concerniente a la pérdida (en ohms) en una línea de transmisión como una guía de onda, cable coaxial o cualquier otro instrumento caracterizado por tener pérdida de potencia en vez de ganancia. Para un sistema de dos puertos con pérdidas, digamos que  $L > 1$  sea la pérdida de potencia (esto es, su ganancia  $G = 1/L < 1$ ) y que  $T_0$  sea su temperatura ambiente; entonces la salida de ruido es simplemente  $kT_0B$ . Usando la ecuación (12) con  $T_{e1} = T_0$  y  $G = 1/L$  tenemos:

$$kT_0B = (1/L) kTB (T_0 + T_e)$$

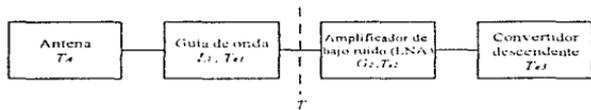
la cual produce la ecuación de la temperatura de ruido equivalente de un sistema de dos puertos con pérdidas:

$$T_e = (L - 1) T_0 \quad (24)$$

Comparando la ecuación (4) con la (16) se puede ver que la figura de ruido de un sistema de dos puertos con pérdidas es

$$F = L \quad (25)$$

Ahora consideremos el lado receptor de la estación terrena, el cual consiste de la antena, la guía de onda que conecta el alimentador de la antena con el amplificador de bajo ruido, el amplificador de bajo ruido y el convertidor descendente, todos ellos conectados en cascada como lo muestra la figura 2.7:



[figura 2.7]

La temperatura de ruido de la antena se mide a la salida del alimentador y se denota como  $T_A$ . La guía de onda se caracteriza por su pérdida de potencia  $L_1 > 1$  (ó ganancia de potencia  $G_1 = 1/L_1 < 1$ ) y su temperatura de ruido equivalente  $T_{e1} = (L_1 - 1)T_0$ . El amplificador de bajo ruido es caracterizado por su ganancia  $G_2$  y su temperatura de ruido equivalente  $T_{e2}$ . La temperatura de ruido equivalente del convertidor descendente es  $T_{e3}$ . La temperatura de ruido equivalente  $T_e$  para el amplificador de bajo ruido y el convertidor descendente conectados en cascada está dada por:

$$T_e = T_{e2} + (T_{e3}/G_2) \quad (26)$$

De la ecuación (12) notamos que la potencia de ruido a la salida de la guía de onda está dada por:

$$\begin{aligned}
 N &= G_1 k B (T_A + T_{e1}) \\
 &= (1/L_1) k B [T_A + (L_1 - 1) T_0] \\
 &= k B \{ (T_A/L_1) + [(L_1 - 1)/L_1] T_0 \} \quad (27)
 \end{aligned}$$

Entonces la temperatura de ruido  $T_e$  medida a la salida de la guía de onda es:

$$T_e = (T_A/L_1) + [(L_1 - 1)/L_1] T_0 \quad (28)$$

De las ecuaciones (14), (26) y (28), se puede observar que la temperatura de ruido de un sistema de una estación terrena, referido a la entrada del amplificador de bajo ruido es simplemente:

$$\begin{aligned}
 T &= T_e + T_a \\
 T &= (T_A/L_1) + [(L_1 - 1)/L_1] T_0 + T_{e2} + (T_{e3}/G_2) \quad (29)
 \end{aligned}$$

Ejemplo:

Para ilustrar la evaluación de la relación de la ganancia de la antena con la temperatura de ruido, consideremos una antena Cassegrain de 20m cuya ganancia a la recepción es de 65.53 dB operando a 11.95 GHz. El lado receptor de la estación terrena se caracteriza por los siguientes parámetros:

Temperatura de ruido de la antena:  $T_A=60$  K

Pérdida en la guía de onda:  $L_1=1.072$  (0.3 dB)

Amplificador de bajo ruido

Temperatura de ruido equivalente:  $T_{e2}=150$  K

Ganancia:  $G_2=10^{-6}$  (60 dB)

Temperatura de ruido equivalente del convertidor descendente:  $T_{e3}=11 \times 10^{-3}$  K

Sustituyendo todos los valores anteriores en la ecuación (29) resulta que temperatura de ruido del sistema de la estación terrena, referido a la entrada del amplificador de bajo ruido y tomando a  $T_0=290$  K:

$$T = (60/1.072) + (0.072 / 1.072) 290 + 150 + (11 \times 10^{-3})/10^{-6} = 225.5 \text{ K}$$

La ganancia de la antena referida a la entrada del amplificador de bajo ruido es:

$$G = 65.53 - L_1 = 65.53 - 0.3 = 65.23 \text{ dB}$$

Entonces la relación de la ganancia de la antena con la temperatura de ruido en decibeles por kelvin es:

$$G/T = G \text{ (dB)} - 10 \log T = 65.23 - 23.53 = 41.7 \text{ dB/K}$$

Basados en el análisis anterior podemos remarcar lo siguiente:

1. Mientras más alta sea la ganancia de la antena, más alto será el valor de  $G/T$ , debido a que la relación portadora a ruido ( $C/N$ ) de la señal recibida será más alta.
2. Mientras más pequeña sea la pérdida de la guía de onda que conecta el alimentador de la antena con la entrada del amplificador de bajo ruido, más alto será el valor de  $G/T$ .
3. Mientras más pequeña sea la temperatura de ruido equivalente del amplificador de bajo ruido, más alto será el valor de  $G/T$ . Debemos agregar también que la ganancia del amplificador de bajo ruido debe ser lo suficientemente alta para reducir la contribución de ruido del convertidor descendente.
4. El valor de  $G/T$  es invariable sin importar el punto de referencia. Para el desarrollo y ejemplo escogimos la entrada del amplificador de bajo ruido como punto de referencia, porque es en este sitio donde la contribución del amplificador de bajo ruido se muestra claramente.

## 2.6 Relaciones Portadora a Ruido ( $C/N_0$ , $E_b/N_0$ )

Uno de los parámetros fundamentales para caracterizar el desempeño de un receptor de comunicaciones es la relación de la potencia de la portadora recibida con la potencia del ruido total en el receptor. Esta *relación portadora a ruido* en RF (**CNR**) se define por:

$$\text{CNR} = P_r / P_n \quad (51)$$

donde  $P_r$  es la potencia de la portadora recibida y está dada por la siguiente expresión:

$$P_r = (\text{PIRE}) L_a L_p G_r \quad (1)$$

**PIRE** = potencia isotrópica radiada efectiva en el transmisor

$L_a$  = pérdidas debidas a la atmosfera

$L_p$  = pérdidas por propagación

$G_r$  = ganancia de la antena a la recepción

y  $P_n$  es la potencia de ruido total entrando al receptor, la cual está dada por:

$$P_n = k T_{\text{eq}} B_{\text{RF}} \quad (11)$$

$k$  = constante de Boltzmann =  $1.379 \times 10^{-23}$  [W/kHz] = -228.6 [dBW/kHz]  
 $T_{\text{eq}}$  = temperatura de ruido equivalente en el receptor (en grados Kelvin)  
 $B_{\text{RF}}$  = ancho de banda de operación del receptor (en RF)

Esta relación indica la fuerza relativa deseada de la potencia transmitida/recibida y la interferencia total. Típicamente, los enlaces de comunicación vía satélite requieren que  $P_r$  sea por lo menos 10 veces el valor de  $P_n$  (esto es,  $\text{CNR} \geq 10$ ) para un procesamiento adecuado en el receptor.

Sustituyendo las ecuaciones (1) y (11) en la ecuación (51) tenemos:

$$\text{CNR} = \left[ (\text{PIRE}) I_{\text{a}} I_{\text{p}} G_r \right] / (k T_{\text{eq}} B_{\text{RF}}) \quad (52)$$

La expresión anterior muestra como algunos parámetros específicos del enlace afectan directamente el factor CNR. Cuando expresamos a CNR en decibeles tenemos:

$$(\text{CNR}) = (\text{PIRE})_{\text{dB}} + (I_{\text{a}})_{\text{dB}} + (I_{\text{p}})_{\text{dB}} + (G_r)_{\text{dB}} - (k)_{\text{dB}} - (T_{\text{eq}})_{\text{dB}} - (B_{\text{RF}})_{\text{dB}} \quad (53)$$

Por lo tanto el valor de CNR resultante dado en decibeles, se obtiene al sumar y restar los valores de los factores dados en decibeles. Hay que notar que la constante de Boltzmann tiene un valor de  $(k)_{\text{dB}} = -228.6$  dB, y toma el valor de un número positivo en la ecuación (53) para efecto del cálculo.

Dado que el ancho de banda del receptor  $B_{\text{RF}}$  algunas veces depende del formato de la modulación, es posible que aislemos los parámetros de la potencia del enlace en RF por medio de normalizar la dependencia fuera del ancho de banda. De esta manera definimos a la *relación portadora a nivel de ruido en RF* ( $C/N_o$ ):

$$(C/N_o) = \left[ (\text{PIRE}) I_{\text{a}} I_{\text{p}} G_r \right] / (k T_{\text{eq}}) \quad (54)$$

la cual no depende del término  $B_{\text{RF}}$ . La ecuación (54) también puede ser expresada en términos de la potencia isotrópica recibida (RIP), lo cual da como resultado:

$$(C/N_o) = \left[ (\text{RIP})/k \right] (G_r / T_{\text{eq}}) \quad (55)$$

En los sistemas digitales la relación  $C/N_o$  nos permite calcular directamente la *relación de la energía de bit con el nivel de ruido* ( $E_b/N_o$ ) en la recepción, y se puede expresar como sigue:

$$E_b/N_o = (C/N_o) T_b \quad (56)$$

donde  $T_b$  es tiempo de bit. De esta manera, si conocemos el valor de  $C/N_0$  de un enlace (el cual solo depende de los parámetros del enlace en RF), podemos calcular tanto el parámetro CNR análogo al dividir por el ancho de banda, como el factor  $E_b/N_0$  digital al multiplicar por el tiempo de bit.

Algunas veces es conveniente separar en factores la ecuación (54) como sigue:

$$(C/N_0) = [(PIRE)/k] [L_a L_p] [G_r/T_{eq}] \quad (57)$$

El primer corchete contiene solo parámetros del transmisor, el segundo corchete contiene parámetros de propagación, y el tercero contiene parámetros del receptor. De tal manera que la ecuación (57) separa la contribución que hace cada subsistema para el valor total de  $C/N_0$ . Esta interpretación es muy interesante y muestra, por ejemplo, que en términos de  $C/N_0$ , el único efecto del sistema receptor se da por medio de la relación de la ganancia de la antena con su temperatura de ruido equivalente ( $G_r/T_{eq}$ ).

Lo anterior de hecho muestra que en lo que al receptor se refiere, se puede mantener cierto desempeño con una ganancia menor (antena más pequeña) si se reduce de manera adecuada el factor  $T_{eq}$ . Por lo tanto, hay una relación directa del tamaño de la antena en el receptor con la temperatura de ruido en el receptor para lograr el desempeño deseado.

La temperatura de ruido del receptor puede ser controlada por medio de control cuidadoso de los elementos de respaldo de la antena (selección de órbita, ángulos de elevación, etc.) y de la electrónica del receptor (baja figura de ruido). Dado que el tamaño de la antena impacta directamente en todo el costo y construcción del receptor, siempre se desea una relación adecuada de la calidad de ruido en el receptor con el tamaño de la antena. Esto es especialmente importante cuando se usan varios receptores (estaciones terrenas) en el diseño de sistema de comunicaciones vía satélite.

## 2.7 Modulación Digital.

La modulación digital es una técnica que se usa para transmitir información en banda base sobre un canal pasobanda. Se asume que la información digital es binaria, esto es 0 y 1, y ocurre a un promedio de 1 bit por cada  $T_b$  segundos. Se necesitan dos señales  $s_1(t)$  y  $s_2(t)$  para representar los dígitos binarios 0 y 1 respectivamente. A este tipo de transmisión se le llama señalización binaria.

Alternativamente, los dígitos binarios pueden segmentarse en bloques, y cada bloque consiste de  $k$  bits. Dado que hay  $M = 2^k$  bloques distintos, se requieren  $M$  señales diferentes para representar sin ambigüedades a los bloques de  $k$ -bit. Cada bloque de  $k$ -bit es llamado un símbolo. Es obvio que la duración de un símbolo es  $T_s = kT_b$  segundos.

A este tipo de transmisión se le conoce como señalización *M-aria*. En esta sección analizaremos la modulación y demodulación de información digital en un canal con ruido Gaussiano blanco aditivo.

### 2.7.1 Señalización por doble corrimiento de fase (BPSK)

La codificación por corrimiento de fase es un esquema de señalización binaria donde la fase de la portadora cambia entre dos valores separados por  $\pi$  radianes con cada nuevo dígito binario. Entonces las dos señales  $s_1(t)$  y  $s_2(t)$  se emplean para representar los dígitos binarios 1 y 0:

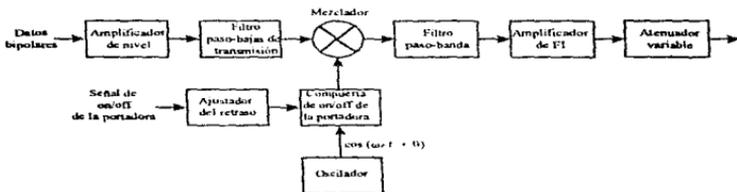
$$s_1(t) = A \cos(\omega_c t + \theta) \quad 0 \leq t \leq T_b$$

$$s_2(t) = A \cos(\omega_c t + \pi + \theta) = -A \cos(\omega_c t + \theta) \quad 0 \leq t \leq T_b \quad (19)$$

donde:

$\omega_c$  = frecuencia de la portadora  
 $\theta$  = fase inicial de la portadora  
 $A$  = amplitud de la señal  
 $T_b$  = duración de bit

En la figura 2.8 tenemos un diagrama de bloques de un modulador BPSK.



[figura 2.8]

La portadora puede ser encendida y apagada por una señal de encendido/apagado (on/off) de la portadora para determinar cuando el modulador emitirá la señal BPSK, tal y como ocurre en el modo de operación por ráfagas de un sistema TDMA.

Se emplea un ajustador del retraso para sincronizar la conmutación de la señal de encendido/apagado de la portadora con la trama de datos. El ajustador del retraso es necesario para compensar el retraso ocasionado cuando la trama de datos pasa a través del filtro paso-bajas de transmisión, el cual forma el espectro de datos.

Los bits con información bipolar se aplican al amplificador de nivel, el cual provee el nivel de señal apropiado para el mezclador. El amplificador de nivel es un amplificador de DC con un circuito de compensación de temperatura.

El mezclador usa la información de la trama de bits después de pasar por el filtro para modular la portadora a una frecuencia  $\omega_c$ . La salida del mezclador proporciona una señal BPSK limitada en banda, la cual pasa por un filtro paso banda con frecuencia central igual al valor de la frecuencia  $\omega_c$  de la portadora. El ancho de banda del filtro paso-banda es más ancho que el de la señal BPSK y no tiene efecto sobre el espectro de la señal. Este filtro es usado para filtrar las señales de espurias generadas por el mezclador. (En ocasiones el filtro paso-banda se usa también para dar forma al espectro de datos, en este caso no se necesita el filtro paso-bajas de transmisión).

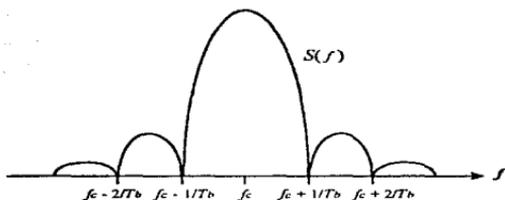
La señal a la salida del filtro paso-bajas es amplificada a un nivel adecuado por el amplificador posterior, normalmente se provee de un atenuador variable para ajustar de manera continua el nivel de salida en caso de ser necesario.

El filtro paso bajas de transmisión en el modulador BPSK es muy importante, especialmente en operaciones TDMA. Este filtro limita el ancho de banda de la señal transmitida de tal manera que la emisión fuera de banda no sobrepase un valor especificado. La densidad espectral de potencia de una señal BPSK con forma de onda de modulación bipolar, con duración de bit  $T_b$  es idéntica a la densidad espectral de potencia de la forma de onda modulada con corrimiento dado por la frecuencia de la portadora  $f_c = \omega_c / 2\pi$  como se observa en la siguiente expresión:

$$S(f) = E_b/2 \{ [(\text{senn}(f-f_c)T_b) / (\pi(f-f_c)T_b)]^2 + [(\text{senn}(f+f_c)T_b) / (\pi(f+f_c)T_b)]^2 \} \quad (20)$$

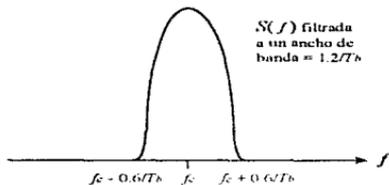
donde  $E_b$ =energía de la señal  $s_1(t)$  ó  $s_2(t)$ , la cual es también conocida como energía por bit.

La figura 2.9 muestra los nulos en el espectro, en las frecuencias  $f = f_c \pm n/T_b$ , y los primeros lóbulos laterales están 13.5 dB por abajo del lóbulo principal.



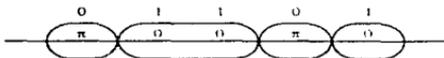
[figura 2.9]

En la figura 2.10 se observa un ejemplo de un espectro BPSK filtrado, donde la energía está confinada a una banda angosta.



[figura 2.10]

Sin embargo, el filtrado cambia la envolvente constante de la señal BPSK a una envolvente con variación en el tiempo suave, la cual toma el valor de cero con cada cambio de fase; como lo muestra la figura 2.11:



[figura 2.11]

Lo anterior da como resultado modulación en amplitud, introduce interferencia intersimbólica e incrementa la probabilidad promedio de error de bit. Además, cuando una señal BPSK con envolvente variante en el tiempo es transmitida por un canal satelital no lineal, la no linealidad en amplitud del HPA de la estación terrena y la del TWTA del satélite, regeneran los lóbulos laterales del espectro BPSK. Por lo tanto, en el diseño del filtro paso-bajas de transmisión se debe de tomar en cuenta lo anterior para poder contrarrestar tales efectos.

De la ecuación (19) se puede observar claramente que solo hay una función básica de unidad de energía, la cual se escribe como sigue:

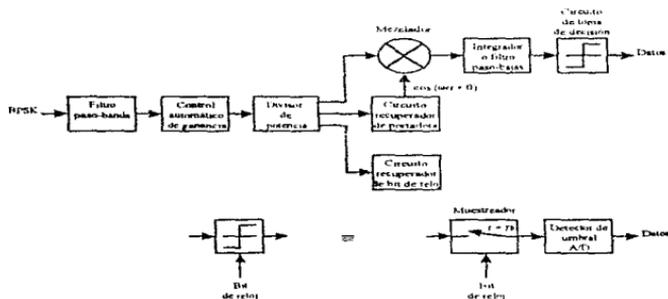
$$u_1(t) = \sqrt{(2/T_b)} \cos(\omega_c t + \theta) \quad 0 \leq t \leq T_b$$

Nótese que las señales BPSK  $s_1(t)$  y  $s_2(t)$  de la ecuación (19) pueden expresarse en términos de  $u_1(t)$ :

$$s_1(t) = \sqrt{(A \cdot 2T_b / 2)} u_1(t)$$

$$s_2(t) = -\sqrt{(A \cdot 2T_b / 2)} u_1(t)$$

y por lo tanto solo se necesita un correlacionador para una demodulación coherente (sincronizada en fase) óptima de la señal BPSK. En la figura 2.12 se muestra el diagrama de bloques de un demodulador BPSK coherente.



[figura 2.12]

La señal BPSK es filtrada por el filtro paso-banda el cual rechaza interferencias indeseables de los canales adyacentes y limita el ancho de banda del ruido térmico, el ancho de banda de este

filtro es usualmente tan ancha como la señal BPSK recibida desde el satélite para que de esta manera no se afecte la forma del espectro (Este filtro paso-banda de recepción, también puede ser diseñado para que sea compatible con el filtro paso-banda de transmisión en el modulador, para reducir el efecto de la interferencia intersimbólica).

Se usa un amplificador con control de ganancia automático (AGC) para proveer a la portadora el nivel sobre un amplio rango dinámico de la señal para el circuito que le sigue. En el circuito de AGC se detecta la potencia pico de la señal BPSK y se retroalimenta al amplificador, el cual cambia su ganancia hasta que el nivel de salida alcanza un valor predeterminado. En la práctica el tiempo de respuesta del amplificador AGC es de varios segundos, dado que la ráfaga de TDMA dura solo algunos microsegundos, el amplificador AGC no puede compensar por las diferencias de nivel de una ráfaga a otra dentro de este periodo de tiempo tan corto; y estas diferencias tienen que tomarse en cuenta en el diseño de los circuitos de la recuperación de la fase de la portadora y de recuperación del reloj.

El circuito de recuperación de la fase de la portadora extrae la portadora  $\cos(\omega_c t + \theta)$  de la señal PSK y junto con el mezclador demodulan la señal BPSK recibida y obtienen la trama de bits de información.

El filtro paso-bajas de recepción quita las componentes de alta frecuencia y el ruido fuera de banda, este filtro es diseñado para que sea compatible con el filtro paso-bajas de transmisión en el modulador, para reducir el efecto de la interferencia intersimbólica y para maximizar la relación señal a ruido recibida.

La trama de bits demodulados se regenera en el circuito de decisión por medio del uso del bit de sincronización de reloj recuperado de la señal BPSK por medio del circuito de recuperación de bit de sincronización.

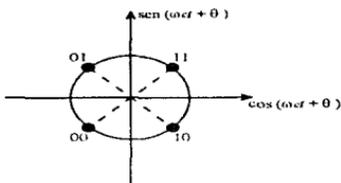
## 2.7.2 Señalización por corrimiento de fase cuaternaria (QPSK)

Como se mencionó al principio de esta sección, los dígitos binarios pueden transmitirse usando señalización  $M$ -aria, donde  $M = 2^k$  distintos símbolos de  $k$ -bits son representados por  $M$  señales. Si  $T_b$  es la duración del bit, entonces la duración del símbolo o el intervalo de señalización es simplemente  $T_s = kT_b$ . Cuando  $M = 4$ , los cuatro distintos símbolos son 00, 01, 10 y 11. En la codificación por corrimiento de fase cuaternaria, cada uno de estos símbolos son representados por una fase distinta de una portadora de amplitud constante:

$$s_m(t) = A \cos(\omega_c t + (\theta_m + \theta)) \quad 0 \leq t \leq T_s \quad (38)$$

donde  $\theta_m$  = modulación en fase y  $\theta$  = fase inicial de la portadora. El mapeo de los símbolos de dos bits 00,01,10 y 11 puede ser representado de varias formas, el mapeo más usado es la *codificación de Gray*

donde dos símbolos que difieren por solo un dígito pueden ser representados por fases adyacentes, como lo muestra la figura 2.13:



[figura 2.13]

La codificación de Gray es importante en la demodulación de la codificación por corrimiento de fase  $M$ -aria, porque los errores causados por el ruido Gaussiano blanco aditivo (AWGN) parece que ocurren cuando la fase adyacente es seleccionada por la fase transmitida. En tal caso ocurre solo un bit de error en un símbolo de  $k$ -bits. En la práctica, los cuatro símbolos 00, 01, 10 y 11 son representados por la fase  $\theta_{n,m}=1,2,3,4$ . Como lo muestra la figura anterior, y las señales transmitidas correspondientes son:

$$\begin{aligned}
 s_1(t) = s_{10}(t) &= A \cos(\omega_c t + \pi/4 + \theta) \\
 s_2(t) = s_{00}(t) &= A \cos(\omega_c t + 3\pi/4 + \theta) & 0 \leq t \leq T_b \\
 s_3(t) = s_{01}(t) &= A \cos(\omega_c t + 5\pi/4 + \theta) \\
 s_4(t) = s_{11}(t) &= A \cos(\omega_c t + 7\pi/4 + \theta) & (39)
 \end{aligned}$$

lo cual puede ser representado de manera equivalente por:

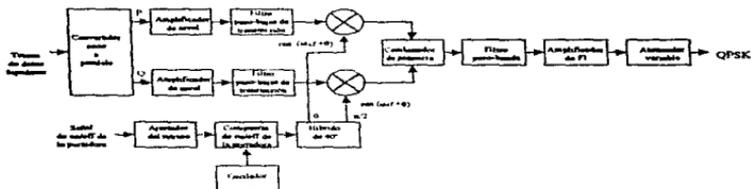
$$\begin{aligned}
 s_1(t) = s_{10}(t) &= A/\sqrt{2} \cos(\omega_c t + \theta) - A/\sqrt{2} \sin(\omega_c t + \theta) \\
 s_2(t) = s_{00}(t) &= -A/\sqrt{2} \cos(\omega_c t + \theta) - A/\sqrt{2} \sin(\omega_c t + \theta) & 0 \leq t \leq T_b \\
 s_3(t) = s_{01}(t) &= -A/\sqrt{2} \cos(\omega_c t + \theta) + A/\sqrt{2} \sin(\omega_c t + \theta) \\
 s_4(t) = s_{11}(t) &= A/\sqrt{2} \cos(\omega_c t + \theta) + A/\sqrt{2} \sin(\omega_c t + \theta) & (40)
 \end{aligned}$$

De las ecuaciones (40) se puede observar que la señal QPSK puede ser vista como una combinación lineal de dos señales BPSK en cuadratura de fase. Esto sugiere la estructura del modulador (fig 2.14) y del demodulador (fig. 2.16) QPSK que se muestran posteriormente. Hay que notar también, que hay dos funciones básicas ortonormales en la expresión  $s_m(t)$  :

$$\begin{aligned} u_1(t) &= \sqrt{2/T_s} \cos(\omega_c t + \theta) & 0 \leq t \leq T_s \\ u_2(t) &= \sqrt{2/T_s} \sin(\omega_c t + \theta) & 0 \leq t \leq T_s \end{aligned} \quad (41)$$

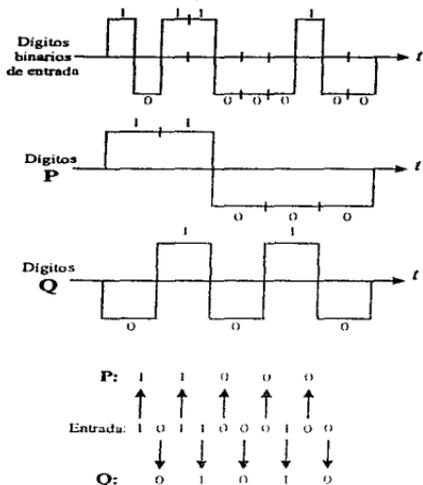
de tal manera que  $s_m(t)$  en la ecuación (40), se puede escribir como sigue:

$$\begin{aligned} s_1(t) &= s_{10}(t) = \sqrt{A \cdot 2T_s / 4} u_1(t) - \sqrt{A \cdot 2T_s / 4} u_2(t) \\ s_2(t) &= s_{00}(t) = -\sqrt{A \cdot 2T_s / 4} u_1(t) - \sqrt{A \cdot 2T_s / 4} u_2(t) \\ s_3(t) &= s_{01}(t) = -\sqrt{A \cdot 2T_s / 4} u_1(t) + \sqrt{A \cdot 2T_s / 4} u_2(t) \\ s_4(t) &= s_{11}(t) = \sqrt{A \cdot 2T_s / 4} u_1(t) + \sqrt{A \cdot 2T_s / 4} u_2(t) \end{aligned} \quad (42)$$



[figura 2.14 modulador QPSK]

En el modulador, la trama de bits bipolar entra a un convertidor serie/paralelo donde es convertida a tramas de dos bits: el canal P en fase y el canal Q en cuadratura, cada uno a la mitad del promedio de datos original, como se puede observar en la figura 2.15:

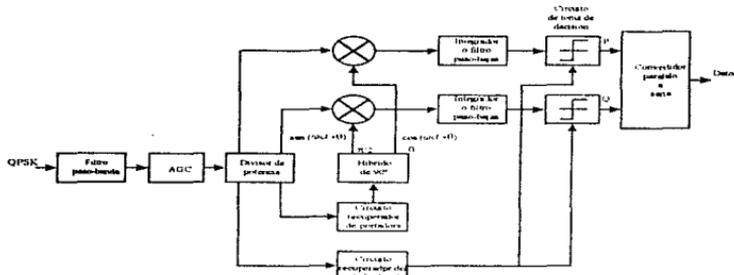


[figura 2.15: Conversión serie a paralelo de una trama de bits bipolares]

De tal manera que un símbolo es representado por un dígito P y un dígito Q. Por ejemplo, el símbolo 01 es representado por el dígito P=0 y por el dígito Q=1. Hay que notar que cada dígito P ó Q tiene una duración de  $2T_b$ , donde  $T_b$  es la duración del bit. Por lo tanto la duración de un símbolo es  $T_s=2T_b$ .

La trama P se usa para modular la portadora  $\cos(\omega_c t + \theta)$ , y la trama Q se usa para modular la portadora en cuadratura  $\sin(\omega_c t + \theta)$ . Las dos señales PSK moduladas son entonces sumadas por el combinador de potencia para formar la señal QPSK. La función de los otros componentes en el modulador QPSK son similares a los del PSK descrito anteriormente.

En el demodulador QPSK coherente, la señal QPSK es entregada al canal P, al canal Q, al circuito recuperador de la portadora y al circuito de recuperación del símbolo de sincronía. Se usa una híbrida de 90° para obtener las portadoras de referencia de cuadratura para demodular las señales PSK en los canales P y Q.



[figura 2.16 demodulador QPSK]

Los tramas P y Q demoduladas son regeneradas en los circuitos de decisión por medio del uso del símbolo de reloj recuperado en el circuito de recuperación del símbolo de sincronía, y son recombinadas por el convertidor paralelo/serie para formar una trama simple de bits. La función de otros componentes del demodulador QPSK es similar a las del demodulador BPSK descrito anteriormente.

Dado que la señal QPSK es una combinación lineal de dos señales BPSK en cuadratura de fase cuyo intervalo de señalización es  $T_s$ , la densidad espectral de potencia QPSK es idéntica a la densidad espectral de potencia BPSK descrita en la ecuación (20), si reemplazamos a  $T_b$  por  $T_s$ :

$$S(f) = E_s/2 \{ [(\text{sen}\pi(f-f_c)T_s) / (\pi(f-f_c)T_s)]^2 + [(\text{sen}\pi(f+f_c)T_s) / (\pi(f+f_c)T_s)]^2 \} \quad (43)$$

donde  $E_s$ =energía por símbolo. Hay que notar que  $T_s=2T_b$ , donde  $T_b$  es la duración del bit; por lo tanto el promedio de símbolos de una señal QPSK es solo la mitad del promedio de bits. Dado lo anterior, un esquema de señalización QPSK reduce el ancho de banda de transmisión en la mitad comparado con el esquema de señalización BPSK de la señal  $s_1(t)$  ó  $s_2(t)$ .

## 2.8 Corrección de errores en la modulación digital.

En las comunicaciones satelitales, es deseable minimizar la probabilidad promedio de error de bit en el receptor, lo cual está relacionado con la potencia de recepción y con el ancho de banda del canal.

La codificación para corrección de errores se usa comúnmente en comunicación satelital digital para mejorar la probabilidad promedio de error de bit. Los dos características comunes de todos los códigos de corrección de error son: la redundancia estructurada y el promediado del ruido. La redundancia estructurada es el método que consiste en insertar símbolos extra o redundantes en el mensaje de información. El promediado del ruido se obtiene por medio de hacer que los símbolos redundantes dependan de varios símbolos de información en un ancho de banda.

Los dos tipos de códigos de corrección de error que mencionaremos en esta sección son la *codificación por bloques* lineal (o codificación por grupo) y la *codificación convolucional* lineal.

Con la *codificación por bloques*, los datos de información, lo cuales son usualmente símbolos binarios o bits (pero pueden haber sido codificados en cualquier alfabeto de  $q \geq 2$  símbolos), son segmentados en bloques de  $k$  bits de información cada uno, donde  $k$  es conocida como la *longitud del bloque*.

Cada bloque de información puede representar cualquiera de los  $M = 2^k$  mensajes distintos ( $M = q^k$  si  $q > 2$ ). Entonces el codificador transforma cada bloque de información en bloques más largos de  $n$  bits ( $n > k$ ) por medio de sumar  $n - k$  bits redundantes en una forma única. Cada bloque de  $n$  bits salidos del codificador constituye una palabra codificada contenida en un grupo de  $M = 2^k$  posibles palabras codificadas. Las palabras codificadas son entonces alimentadas al modulador, el cual genera un grupo de formas de onda con duración de tiempo finita para transmitir sobre el canal.

Un codificador de bloques es un dispositivo sin memoria porque cada palabra codificada de  $n$ -bits solo depende de un bloque de  $k$ -bits de información específica y no de otros. Esto no significa que un codificador de bloques no contenga elementos de memoria.

La relación de los bits de información en el total de bits de una palabra codificada es conocida como la *relación del código (R)*. Se puede expresar:

$$R = k / n$$

$$(149)$$

Si  $R_b$  es el promedio de los bits de información a la entrada del codificador, la relación de bits codificados  $R_c$  a la salida del mismo es:

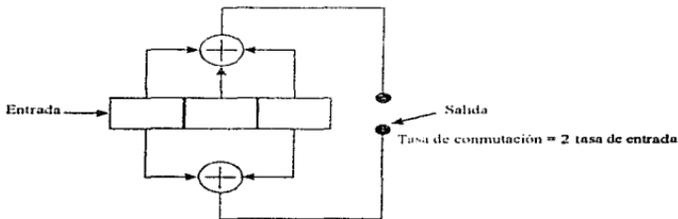
$$R_c = R_b / R = nR_b / k \quad (150)$$

Los valores prácticos de la longitud de bloques de información  $k$  van desde 3 hasta varios cientos y  $R$  va desde  $1/4$  hasta  $7/8$ .

Se puede lograr este tipo de codificación para corrección de errores con un código de bloques  $(n, k)$  porque solo hay  $M=2^k$  posibles palabras codificadas que pueden ser transmitidas, y el número de posibles palabras recibidas  $2^n$  es mucho más grande que  $2^k$ . La característica única de  $n-k$  bits redundantes sumados a un bloque de información con  $k$ -bits permite que el decodificador identifique el mensaje de  $k$ -bits correspondiente.

En la **codificación convolucional**, los datos con información pasan a través de un registro con corrimiento lineal con  $M$  etapas el cual desplaza  $k$  bits al mismo tiempo. Por cada  $M$  bits de información almacenados en el registro de corrimiento, hay  $n$  circuitos lógicos lineales que operan contenidos en el registro de corrimiento para producir  $n$  bits codificados a la salida del codificador.

Por lo tanto la relación del código es  $R = k/n$ . Debido a que un bit de información particular permanece en el registro de corrimiento para  $M/k$  corrimientos, se influencia el valor de  $nM/k$  bits codificados. Entonces se puede decir que el codificador convolucional es dispositivo con memoria. Los valores típicos para  $k$  y  $n$  están en el rango de 1 a 8, para  $R$  en el rango de  $1/4$  a  $7/8$ , y para  $M$  en el rango de 5 a 70. En la figura 2.17 se muestra un diagrama de bloques de un codificador convolucional con  $M=3$ ,  $k=1$ , y  $n=2$ .



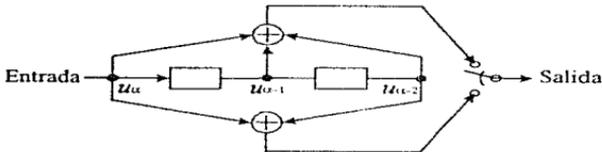
[figura 2.17 : diagrama de bloques de un codificador convolucional]

De los conceptos anteriores, se puede observar que la codificación para corrección de errores requiere más capacidad de tráfico de información. Si se desea mantener la misma relación de tráfico de información usando algún código para corrección de errores, será necesario ampliar el ancho de banda de un canal FDMA o alargar la subtráfa en un canal TDMA.

### 2.8.1 FORWARD ERROR CORRECTION (FEC)

Este tipo de código convolucional encuentra gran uso en sistemas satelitales tanto militares como comerciales, debido a la disponibilidad de algoritmos de decodificación de decisión-suave que pueden ser implementados con gran facilidad. De hecho, este tipo de código es el que usa el sistema de comunicaciones vía satélite propuesto en esta tesis.

Para facilitar el análisis de este código convolucional, haremos uso del siguiente ejemplo. Consideremos el codificador convolucional mostrado en la figura 2.18, el cual acepta un bit a la entrada y genera dos bits a la salida.



[figura 2.18 : diagrama de bloques del codificador convolucional de análisis]

Las dos secuencias de salida son multiplexadas en una sola secuencia de salida con una relación del doble de bits de la secuencia de entrada. Por lo tanto la relación del código es  $R = \frac{1}{2}$ . Es claro que los bits de salida  $v_{i,1}$  y  $v_{i,2}$  pueden expresarse en términos del bit de entrada  $u_i$  y de dos bits previos  $u_{i-1}$  y  $u_{i-2}$  como se muestra a continuación:

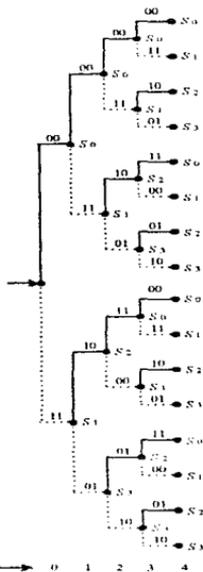
$$v_{i,1} = u_i \oplus u_{i-1} \oplus u_{i-2}$$

$$v_{i,2} = u_i \oplus u_{i-2}$$

donde  $\oplus$  es la suma en módulo 2. El estado del codificador se define por el contenido de su registro de corrimiento. Definamos a  $N_m$  como la memoria total del codificador, que es la suma de todas las longitudes de los registros (hay que notar que  $N_m \neq kA$  si todos los registros tienen la misma longitud  $A$ ), de tal manera que el total de los estados posibles es  $2^{N_m}$ .

Para el codificador mostrado en la figura,  $N_m=M=2$ , por lo tanto hay cuatro estados posibles: 00, 01, 10, y 11. De la figura también se puede ver que al codificador toma dos bits de estado más un bit de entrada para un total de  $K=3$  bits para especificar cada grupo de dos bits de salida,  $K$  es conocida como la *longitud obligada* del código convolucional y es igual a la suma de los bits de estado más los bits de entrada.

La relación entre las secuencias de entrada y de salida de un codificador convolucional pueden representarse gráficamente por un *árbol de código*. La figura 2.19 nos muestra el árbol de código para el codificador en análisis.



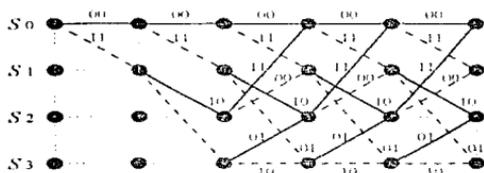
[figura 2.19 : diagrama de árbol del codificador convolucional de análisis]

La rama con línea sólida representa un 0 a la entrada del codificador, y la rama con la línea punteada representa un 1 a la entrada del codificador. Los nodos corresponden a los estados 00, 01, 10 y 11, y son representados por  $S_0$ ,  $S_1$ ,  $S_2$  y  $S_3$  respectivamente. Debido a que cada nuevo bloque de  $k$ -bits de entrada causa una transición hacia un nuevo estado, hay  $2^k$  ramas de  $n$ -bits saliendo de cada estado, cada una correspondiente a cada diferente bloque de entrada.

Para el codificador en cuestión,  $k=1$  por lo tanto hay dos ramas de dos bits cada una saliendo de cada estado. Para una secuencia de salida del codificador se determina al trazar una trayectoria a través del árbol de código de izquierda a derecha de acuerdo con la secuencia de entrada.

Por ejemplo, para la secuencia de entrada 0101 se codifica moviendo el primer bit hacia arriba a la rama del primer nivel, el segundo bit hacia abajo, el tercer bit hacia arriba y el cuarto hacia abajo, para obtener la secuencia de salida correspondiente 00, 11, 10, 00

También debemos notar que el patrón de ramas se repite asimismo cada vez que la unidad  $j=3$  dado que  $M+1=3$ , por lo tanto los grupos de trayectorias que se originan desde los nodos correspondientes al mismo estado son idénticas. Lo anterior nos lleva hacia el *diagrama de malla* que se muestra en la figura 2.20, en el cual los patrones idénticos se originan desde el mismo nodo (estado) son unidas en una rama sencilla



[figura 2.20 : diagrama malla del codificador convolucional de análisis]

La **decodificación** de un código convolucional se puede llevar a cabo por medio de varios **métodos**, como por ejemplo la decodificación Viterbi, la decodificación secuencial y la decodificación por síndrome. La técnica de decodificación mejor conocida y más usada es el algoritmo Viterbi, la cual es el algoritmo de decodificación de máxima probabilidad para códigos convolucionales.

El algoritmo Viterbi intenta escoger, a través de un diagrama de malla, la trayectoria que coincida lo más posible con la secuencia recibida ( $r$ ); esto es, que intenta minimizar la probabilidad de error en la secuencia. En otras palabras el algoritmo intenta encontrar una trayectoria, a través de la malla, con la probabilidad métrica más alta (esto es, la trayectoria con máxima probabilidad).

El algoritmo procesa a ( $r$ ) en una forma iterativa por medio de comparar las trayectorias que entran a cada nodo (estado) en la malla, y solo la trayectoria con la probabilidad métrica más alta (trayectoria sobreviviente) es conservada junto con su métrica

Para una secuencia de información  $u$  de longitud  $M$  donde  $L$  es la longitud de la secuencia de información en cada una de las  $k$  entradas, la secuencia codificada  $v$  es de longitud  $n(I+M)$ . El algoritmo Viterbi comienza en la unidad de tiempo  $j = M$  y finaliza en la unidad de tiempo  $j = I+M$ . Dado que hay  $2^{n(N_m)}$  estados, hay  $2^{n(N_m)}$  trayectorias sobrevivientes desde la unidad de tiempo  $j=M$  hasta la unidad de tiempo  $j=L$ . Después de la unidad de tiempo  $j=L$ , el decodificador retorna a su estado inicial, en este momento solo hay algunos estados y algunas trayectorias sobrevivientes

En la unidad de tiempo  $j = I+M$ , el decodificador retorna nuevamente a su estado inicial; en este momento solo hay una trayectoria sobreviviente y el algoritmo termina con esta trayectoria sobreviviente final, la cual es la trayectoria con máxima probabilidad. El algoritmo Viterbi es el óptimo en el sentido siempre puede encontrar la trayectoria de máxima probabilidad a través de la malla

## 2.9 Técnicas de acceso al satélite.

Una ventaja de la comunicación vía satélite sobre otros medios de transmisión, es su habilidad de enlazar todas las estaciones terrenas al mismo tiempo, proporcionando de esta manera comunicaciones punto-multipunto. El transpondedor de un satélite puede ser accedido por muchas estaciones terrenas, y por lo tanto es necesario contar con técnicas de acceso para poder designar capacidad en el transpondedor para cada una de ellas.

Los dos esquemas de *acceso múltiple* más comúnmente usados son el *acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA)* y el *acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)*.

### 2.9.1 Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA)

La técnica FDMA ha sido usado desde el inicio de la comunicación vía satélite. En este esquema cada estación terrena del grupo de estaciones terrenas que comparten la capacidad

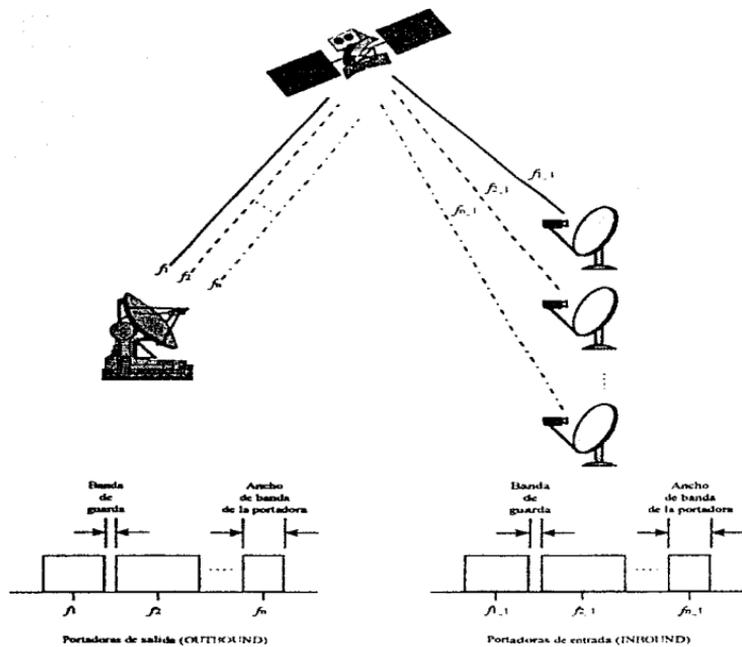
del transpondedor, transmite una o varias portadoras hacia el satélite, cada una con diferente frecuencia central.

A cada portadora se le asigna un ancho de banda dentro del ancho de banda del transpondedor, junto con una pequeña banda de guarda para evitar interferencia entre portadoras adyacentes.

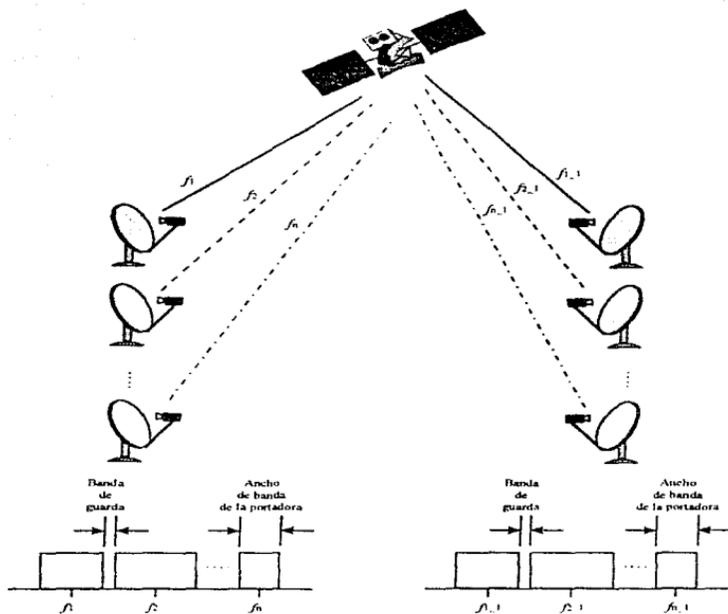
El transpondedor del satélite recibe todas las portadoras en su ancho de banda, las amplifica y las retransmite de regreso hacia la Tierra. En la Tierra, cada estación terrena selecciona dentro del espectro de frecuencias que recibe, a la portadora de su interés

En la figura 2.21 y 2.22 se ilustra el concepto de FDMA. La modulación de las portadoras que más comúnmente se usa en FDMA es FM o PSK.

Un caso particular del concepto FDMA es la técnica de operación de *canal sencillo por portadora SCPC*. Las ventajas que tiene esta técnica, entre otras cosas, es que se puede transmitir volúmenes muy grandes de información, tal como transferencia de archivos o incluso video digital. La desventaja es que se tiene que asignar una portadora con su correspondiente ancho de banda para cada canal de cada estación terrena. Esta técnica se emplea con modulación digital.



[figura 2.21: ejemplo de FDMA, enlaces punto-multipunto]



[figura 2.22: ejemplo de FDMA, enlaces punto a punto]

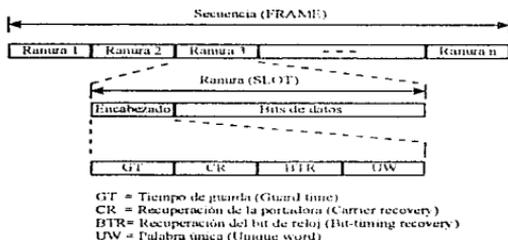
### 2.9.2 Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA)

En la técnica TDMA, las estaciones terrenas que comparten el transpondedor del satélite usan una portadora con la misma frecuencia central para transmitir en base a una división de tiempo.

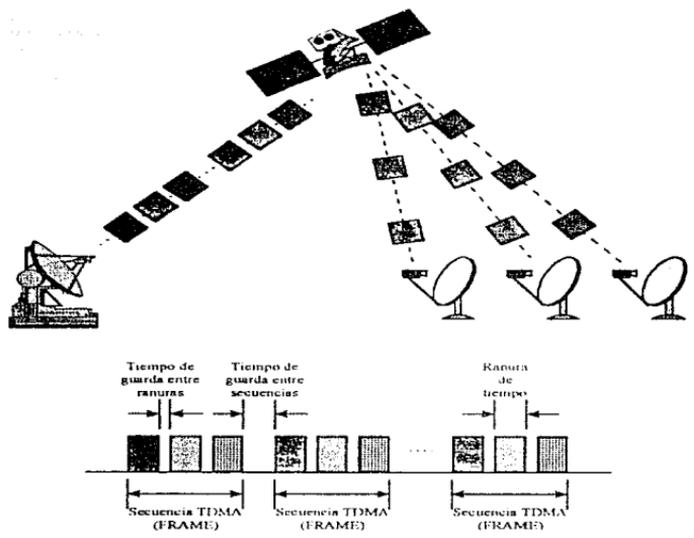
A cada estación terrena se le permite transmitir tráfico en forma de ráfagas en un esquema de tiempo periódico llamado *esquema TDMA*. Durante la ráfaga, cada estación terrena tiene todo el ancho de banda asignado en el transpondedor para su transmisión.

El tiempo de transmisión de las ráfagas está cuidadosamente sincronizado, de tal manera que las ráfagas que llegan al transpondedor del satélite se encuentran muy cerca unas de otras pero nunca se traslapan en el tiempo.

El transpondedor del satélite recibe una ráfaga a la vez, la amplifica y la retransmite de regreso hacia la Tierra, de tal manera que las estaciones terrenas reciben la totalidad de las ráfagas y solamente extraen la de interés. En las figuras 2.23a y 2.23b se ilustra el concepto de TDMA.



[figura 2.23a contenido de la secuencia TDMA]



[figura 2.23b : ejemplo de TDMA]

La ventaja que ofrece esta técnica de acceso, es que con un pequeño ancho de banda asignado en el transpondedor, se puede enlazar un gran número de estaciones terrenas. La desventaja radica en que esta técnica no es muy eficiente en la transmisión de grandes volúmenes de información, está mas bien enfocada al manejo interactivo de mensajes (tales como la consulta a bancos de datos, etc.)

### 2.9.3 Acceso Múltiple de Asignación por Demanda (DAMA)

**El acceso múltiple de asignación por demanda (DAMA)**, es una técnica de acceso eficiente en la que se utilizan varias técnicas de acceso como FDMA (SCPC) y TDMA. Esta técnica de acceso está enfocada al establecimiento de llamadas de voz y se puede dar en configuraciones de estrella y/o malla.

En cualquier sistema DAMA la función más importante es la de dedicar la capacidad requerida para establecer una llamada (enlace).

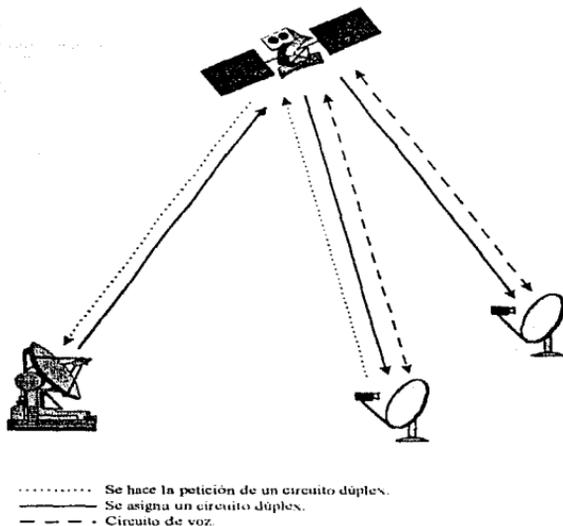
En un sistema DAMA de control centralizado (este tipo de sistema es el más eficiente), una estación maestra de control asume la responsabilidad de asignar los circuitos dúplex disponibles (dos canales) requeridos para establecer una llamada entre dos estaciones con tráfico.

En primer lugar y usando el concepto de TDMA, la estación maestra de control debe sentir que una estación del sistema está iniciando una llamada, enseguida debe de ubicar a la estación terrena que es el destino de la llamada.

Una vez concluido lo anterior, se determina la disponibilidad de canales en el transpondedor del satélite o en las dos estaciones terrenas, se asigna un par de canales (concepto SCPC), y se permite que las estaciones tengan acceso la una con la otra por medio del satélite.

La estación maestra de control también detecta cuando la llamada ha sido completada y en ese momento libera el circuito dúplex, esto quiere decir que el par de canales queda libres para ser asignado a la demanda de una nueva llamada.

Por lo tanto, la estación maestra de control debe de tener la capacidad de dar el seguimiento a la ocupación de canales en el transpondedor de todas las estaciones terrenas en el sistema. La siguiente figura (2.24) nos muestra el proceso para establecer un enlace bajo el concepto DAMA.



[figura 2.24 : ejemplo de DAMA]

### 2.10 *Throughput* digital.

En los sistemas de comunicación via satélite, la excesiva demanda de un limitado ancho de banda obliga al enlace de comunicación a ser muy eficiente en el uso de este ancho de banda. Por esta razón los formatos de señalización para la comunicación via satélite tienden hacia que lo modulación y los esquemas de codificación combinen tanto la eficiencia de la potencia como las ventajas del ancho de banda.

En los sistemas digitales, este ancho de banda puede ser controlado de alguna manera por medio de la selección correcta de las formas de onda usadas para la codificación. Si un enlace digital transmite  $R$  [bps] y requiere una portadora con ancho de banda  $B_c$  [Hz], la eficiencia del ancho de banda es medida por medio del llamado *throughput de canal*, definido por:

$$\eta = R / B_c \quad [\text{bps/Hz}] \quad (81)$$

Este parámetro indica que tan bien el enlace digital hace uso del ancho de banda disponible  $B_c$ . Mientras más grande sea el *throughput*, más bits pueden ser transmitidos por una portadora de ancho de banda dado.

Como el promedio de bits que se puede transmitir esta relacionado con la relación de la energía de bit con el nivel de ruido  $E_b/N_0$ , podemos escribir la siguiente expresión:

$$E_b/N_0 = (P_c T_b)/N_0 = P_c / (N_0 R) \quad (82)$$

donde:  $P_c$  = potencia de la portadora en el decodificador

$T_b$  = tiempo de bit en la portadora

$R$  = promedio de bits que pasan por el canal.

También sabemos que el valor de  $E_b/N_0$  determina el desempeño de la *probabilidad de error (PE)* podemos observar de manera implícita que el *throughput* depende del valor designado a PE. Si de manera arbitraria incrementáramos el promedio de bits  $R$  enviando simplemente bits a más velocidad a través del mismo ancho de banda de la portadora, eventualmente ocasionaremos que se distorsione la forma de onda, y será necesario elevar el valor de  $E_b/N_0$  para mantener el valor de PE.

Si consideramos un sistema BPSK estándar que envía bits a un promedio  $R=1/T_b$  [bps], se requiere de un ancho de banda de aproximadamente  $B_c=2/T_b$ , y una potencia de la portadora  $P_c = \gamma N_0 B_c / 2$ , donde  $\gamma$  es el valor requerido de  $E_b/N_0$  para lograr el valor de PE deseado. De tal manera que el *throughput* es:

$$\eta_{\text{BPSK}} = R / B_c = (1/T_b) / (2/T_b) = 1/2 \quad [\text{bps/Hz}] \quad (83)$$

Entonces por ejemplo, si se va a transmitir 1Mbps, se requerirá una portadora con ancho de banda de 2MHz.

Si usamos QPSK, el promedio de bits es el doble para el mismo ancho de banda y PE. Por lo tanto:

$$\eta_{\text{QPSK}} = (2/T_b) / (2/T_b) = 1 \quad [\text{bps/Hz}] \quad (83)$$

Esto quiere decir que ahora se puede transmitir 1Mbps con una portadora de 1MHz de ancho de banda.

### 2.11 La fórmula B de Erlang.

Considerando la capacidad de comunicación de  $n$  canales para tráfico de voz entre dos puntos. Asumiendo que una llamada entre estos dos puntos puede usar cualquiera de estos canales si, en el momento en que se efectúe la llamada, no todos los canales están ocupados. Cuando todos los  $n$  canales están ocupados, cualquier llamada entrante encontrará una señal de ocupado y será bloqueada. La congestión de llamadas, esto es, la probabilidad de que una llamada entrante sea bloqueada al encontrar todos los canales ocupados, fue estudiada por A. K. Erlang (1878-1929), un matemático danés que trabajó para la Compañía Telefónica de Copenhague.

El análisis está basado en las siguientes suposiciones:

1. La forma de entrar de las llamadas es un proceso de Poisson. Digamos que la variable aleatoria  $k$  sea el número de llamadas entrantes en un intervalo de duración  $t$  y  $\lambda$  sea la relación de llamadas entrantes. Asumimos que la probabilidad de que una llamada entrante en un intervalo infinitesimal  $\Delta t$  es proporcional a  $\Delta t$ , de tal manera que:

$$\text{Pr [una llamada entre en } (t, t + \Delta t)] = \lambda \Delta t$$

También asumimos que la probabilidad de que más de una llamada entren en  $\Delta t$  es despreciable, por lo tanto:

$$\text{Pr [ninguna llamada entre en } (t, t + \Delta t)] = 1 - \lambda \Delta t$$

Además, asumimos que estas llamadas entrantes son independientes. De estas suposiciones se puede demostrar que estas llamadas tienen una distribución de Poisson. Digamos que  $p_k(t)$  denota la probabilidad de  $k$  arribos en el intervalo de tiempo  $t$ . La probabilidad de  $k$  arribos en un intervalo de tiempo  $t + \Delta t$  es igual al producto de  $p_k(t)$  y la probabilidad de no arribos en  $\Delta t$  más el producto de  $p_{k-1}(t)$  y la probabilidad de un arribo en  $\Delta t$ , esto es:

$$p_k(t + \Delta t) = p_k(t) (1 - \lambda \Delta t) + p_{k-1}(t) \lambda \Delta t \quad k \geq 1$$

ó de manera equivalente, cuando  $\Delta t \rightarrow 0$ :

$$\frac{dp_k(t)}{dt} = \lambda [p_{k-1}(t) - p_k(t)]$$

la solución de esta ecuación diferencial da como resultado:

$$p_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} \exp(-\lambda t) \quad (7.1)$$

2. El tiempo de servicio de la llamada o tiempo de retención es independiente y exponencialmente distribuido con el parámetro  $\mu$ ; esto es, la función de distribución del tiempo de servicio es  $1 - \exp(-\mu t)$ , donde  $\mu$  es la relación principal de tiempo descolgado. Hay que notar que la probabilidad de que una llamada sea terminada en  $\Delta t$  es  $\mu \Delta t$ , y cuando hay  $j$  llamadas en progreso, la probabilidad de que una llamada termine en  $\Delta t$  es  $j\mu \Delta t$ ; esto es, la relación  $\mu_j$  en la cual el servicio termina es  $\mu_j = j\mu$ . Hay que notar que  $1/\mu$  es el tiempo promedio de servicio o tiempo de retención.
3. Las llamadas bloqueadas son eliminadas. Una llamada entrante que encuentre todos los  $n$  canales ocupados debe dejar el sistema y no producir ningún efecto en el mismo.

Para derivar la probabilidad de una llamada siendo bloqueada, digamos que  $p_k$  sea la probabilidad de equilibrio con la cual haya exactamente  $k$  llamadas en progreso en el sistema; esto es, se dice que el sistema se encuentra en el estado  $k$ . Las transiciones ocurren entre los estados del sistema. Si el sistema se encuentra en el estado  $k-1$  y una llamada nueva arriba durante el siguiente intervalo  $\Delta t$ , el sistema se moverá al estado  $k$ . Dado que la relación de llamadas que entran es  $\lambda$ , la razón de transición del estado  $k-1$  al estado  $k$  es simplemente  $\lambda p_{k-1}$ .

De manera similar, si el sistema se encuentra en el estado  $k$ , la razón de la transición del estado  $k$  al estado  $k-1$  es  $k\mu p_k$ , porque la razón de descolgado de la llamada es  $k\mu$ . En estado de equilibrio, la probabilidad de encontrar al sistema en un estado dado es invariante con el tiempo; esto es, la probabilidad de que haya más de  $k$  llamadas entrantes es constante. La probabilidad incrementa como el sistema se mueve del estado  $k-1$  al estado  $k$  y decrece como el sistema se mueve del estado  $k$  al estado  $k-1$ . En cualquier instante de tiempo la razón neta de transición de  $k-1$  a  $k$  y de  $k$  a  $k-1$  debe ser cero para mantener el equilibrio, por lo tanto debemos tener:

$$\lambda p_{k-1} = k\mu p_k \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (7.2)$$

ó

$$p_k = \frac{\lambda}{k\mu} p_{k-1} \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (7.3)$$

Digamos que:

$$\alpha = \frac{\lambda}{\mu} \quad (7.4)$$

El parámetro  $a$  es conocido como la *intensidad de tráfico*. Entonces:

$$p_k = \frac{a}{k} p_{k-1} \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (7.5)$$

y

$$p_k = \frac{a^k}{k!} p_0 \quad (7.6)$$

Para eliminar  $p_0$ , hay que notar que la suma de las probabilidades debe ser igual a 1:

$$\sum_{k=0}^n p_k = p_0 \sum_{k=0}^n \frac{a^k}{k!} = 1 \quad (7.7)$$

lo cual da como resultado:

$$p_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^n \frac{a^k}{k!}} \quad (7.8)$$

La probabilidad de que haya  $k$  llamadas en el sistema es:

$$p_k = \frac{\frac{a^k}{k!}}{\sum_{k=0}^n \frac{a^k}{k!}} \quad (7.9)$$

La probabilidad de que haya  $n$  llamadas en el sistema o la probabilidad de que una llamada entrante sea bloqueada al encontrar todos los  $n$  canales ocupados es:

$$p_n = B(n, a) = \frac{\frac{a^n}{n!}}{\sum_{k=0}^n \frac{a^k}{k!}} \quad (7.10)$$

$B(n, a)$  es llamada la *fórmula B de Erlang* para un grupo de  $n$ -canales con una intensidad de tráfico de  $a = \lambda/\mu$ . Hay que notar que  $a$  es el producto del número de llamadas por segundo y el tiempo promedio de servicio por llamada en segundos. La unidad de  $a$  es el *erlang*. La ecuación (7.10) forma la herramienta fundamental para evaluar el *grado de servicio* de un sistema con tráfico de voz. La relación entre  $n$ ,  $a$  y  $B$  está dada en la tabla que aparece después de los siguientes ejemplos:

**Ejemplo 1:**

Una intensidad de tráfico de 1 erlang se ofrece para un grupo de tres canales. El tiempo promedio de retención de la llamada es de 2 minutos.

- a) El número promedio de llamadas entrantes por hora puede calcularse a partir de la ecuación (7.4):

$$\lambda = \frac{\alpha}{1/\mu} = \frac{1}{2 \text{ min}} = \frac{1}{2[(1/60)] \text{ hrs}}$$

$$= 30 \text{ llamadas por hora}$$

- b) La probabilidad de que ninguna llamada arribe durante un periodo específico de 2 minutos está dada por la ecuación (7.1)

$$p_0(2 \text{ min}) = 1/0! \exp[-30(2/60)]$$

$$= \exp(-1) = 0.368$$

- c) La probabilidad de que una llamada sea bloqueada está dada por la ecuación (7.10):

$$B(3,1) = 0.0625$$

**Ejemplo 2.**

Una intensidad de tráfico de 15 erlangs se ofrece para un grupo de 25 canales.

- a) De la tabla que aparece enseguida de los ejemplos, se puede observar que la probabilidad de bloqueo es:

$$B(25,15) = 0.005$$

- b) La probabilidad de que un canal esté libre es la misma que la probabilidad que 24 canales estén ocupados y puede ser calculada a partir de la ecuación (7.9):

$$p_{24} = \frac{\frac{15^{24}}{24!}}{\sum_{k=0}^{24} \frac{15^k}{k!}} = \frac{25}{15} \times \frac{\frac{15^{23}}{23!}}{\sum_{k=0}^{23} \frac{15^k}{k!}}$$

$$= (25/15) [B(25,15)] = (25/15)(0.005) = 0.0083$$

- c) En el evento que haya un sobrecarga de 20% en el tráfico o que ocurra la falla del 20% de los canales (siempre y cuando no ocurran al mismo tiempo), la probabilidad del bloqueo de las llamadas no excederá de 0.01. ¿Cual es el mínimo número de canales requeridos para  $B=0.005$  durante operación normal? de la tabla siguiente el número de canales requerido para  $B=0.01$  y  $a=18$  erlangs es 28; el número de canales requerido para  $B=0.01$  y  $a=15$  erlangs es 24; de tal manera que se deben de proveer 29 canales para 5 canales fuera de servicio.

Tabla B de Erlang: Intensidad de tráfico contra número de canales y probabilidad de bloqueo.

n	Una llamada perdida en:				n	Una llamada perdida en:			
	50 <sup>a</sup> a	100 <sup>b</sup> b	200 <sup>c</sup> c	1000 <sup>d</sup> d		50 <sup>a</sup> a	100 <sup>b</sup> b	200 <sup>c</sup> c	1000 <sup>d</sup> d
1	0.020	0.010	0.005	0.001	51	41.2	38.8	36.8	33.4
2	0.22	0.15	0.105	0.046	52	42.1	39.7	37.6	34.2
3	0.60	0.45	0.35	0.19	53	43.1	40.6	38.5	35.0
4	1.1	0.9	0.7	0.44	54	44.0	41.5	39.4	35.8
5	1.7	1.4	1.1	0.8	55	45.0	42.4	40.3	36.7
6	2.3	1.9	1.6	1.1	56	45.9	43.3	41.2	37.5
7	2.9	2.5	2.2	1.6	57	46.9	44.2	42.1	38.3
8	3.6	3.2	2.7	2.1	58	47.8	45.1	43.0	39.1
9	4.3	3.8	3.3	2.6	59	48.7	46.0	43.9	40.0
10	5.1	4.5	4.0	3.1	60	49.7	46.9	44.7	40.8
11	5.8	5.2	4.6	3.6	61	50.6	47.8	45.6	41.6
12	6.6	5.9	5.3	4.2	62	51.6	48.8	46.5	42.5
13	7.4	6.6	6.0	4.8	63	52.5	49.7	47.4	43.4
14	8.2	7.4	6.6	5.4	64	53.4	50.6	48.3	44.1
15	9.0	8.1	7.4	6.1	65	54.4	51.5	49.2	45.0
16	9.8	8.9	8.1	6.7	66	55.3	52.4	50.1	45.8
17	10.7	9.6	8.8	7.4	67	55.3	53.3	51.0	46.6
18	11.5	10.4	9.6	8.0	68	57.2	54.2	51.9	47.5
19	12.3	11.2	10.3	8.7	69	58.2	55.1	52.8	48.3
20	13.2	12.0	11.1	9.4	70	59.1	56.0	53.7	49.2
21	14.0	12.8	11.9	10.1	71	60.1	57.0	54.6	50.1
22	14.9	13.7	12.6	10.8	72	61.0	58.0	55.5	50.9
23	15.7	14.5	13.4	11.5	73	62.0	58.9	56.4	51.8
24	16.6	15.3	14.2	12.2	74	62.8	59.8	57.3	52.6
25	17.5	16.1	15.0	13.0	75	63.9	60.7	58.2	53.5
26	18.4	16.9	15.8	13.7	76	64.8	61.7	59.1	54.3
27	19.3	17.7	16.6	14.4	77	65.8	62.6	60.0	55.2
28	20.2	18.6	17.4	15.2	78	66.7	63.6	60.9	56.1
29	21.1	19.5	18.2	15.9	79	67.7	64.5	61.8	56.9
30	22.0	20.4	19.0	16.7	80	68.6	65.4	62.7	57.8
31	22.9	21.2	19.8	17.4	81	69.6	66.3	63.6	58.6
32	23.8	22.1	20.6	18.2	82	70.6	67.2	64.5	59.5
33	24.7	23.0	21.4	18.9	83	71.5	68.1	65.4	60.4
34	25.6	23.8	22.3	19.7	84	72.4	69.1	66.3	61.3
35	26.5	24.6	23.1	20.5	85	73.4	70.1	67.2	62.1
36	27.4	25.5	23.9	21.3	86	74.4	71.0	68.1	63.0
37	28.3	26.4	24.8	22.1	87	75.4	71.9	69.0	63.9
38	29.3	27.3	25.6	22.9	88	76.3	72.8	69.9	64.8
39	30.1	28.2	26.5	23.7	89	77.2	73.7	70.8	65.6
40	31.0	29.0	27.3	24.5	90	78.2	74.7	71.9	66.6
41	32.0	29.9	28.2	25.3	91	79.2	75.6	72.7	67.4
42	32.9	30.8	29.0	26.1	92	80.1	76.6	73.6	68.3
43	33.8	31.7	29.9	26.9	93	81.0	77.5	74.3	69.1
44	34.7	32.6	30.8	27.7	94	81.9	78.4	75.4	70.0
45	35.6	33.4	31.6	28.5	95	82.9	79.3	76.3	70.9
46	36.6	34.3	32.5	29.3	96	83.8	80.3	77.2	71.8
47	37.5	35.2	33.3	30.1	97	84.6	81.3	78.2	72.6
48	38.4	36.1	34.2	30.9	98	85.7	82.2	79.1	73.5
49	39.4	37.0	35.1	31.7	99	86.7	83.2	80.0	74.4
50	40.3	37.9	35.9	32.5	100	87.6	84.0	80.9	75.3

a) Probabilidad de 0.02

b) Probabilidad de 0.01

c) Probabilidad de 0.005

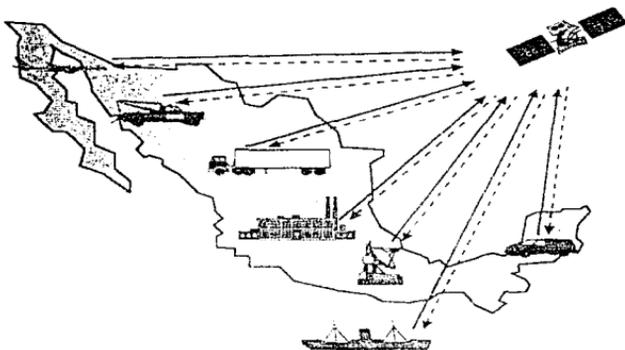
d) Probabilidad de 0.001

### 3.- Descripción del SISTEMA

En este capítulo analizaremos de manera general el sistema propuesto para resolver las necesidades y requerimientos que tiene GMM. El sistema propuesto está basado en el uso de la comunicación móvil via satélite como la mejor opción tecnológica.

A continuación listaremos los temas en que se ha dividido este capítulo y posteriormente se desarrollará cada uno de manera específica.

- Funciones básicas
- Descripción general de los elementos del sistema.
- Capacidad
- Control de comunicaciones, acceso y señalización



[figura 3.1 : aplicaciones de la comunicación móvil via satélite]

### 3.1 Funciones básicas.

El sistema propuesto, es un sistema de comunicaciones móviles via satélite el cual puede proveer servicios de comunicación de voz, FAX y datos usando uno, dos o tres satélites geoestacionarios.

El SISTEMA puede proveer acceso a circuitos conmutados de la Red Telefónica Pública Conmutada (PSTN), a redes privadas individuales a través de la Red Digital de Servicios Integrados (ISDN) e interfaces analógicas. Además, el sistema soporta la capacidad de tráfico de mensajes en paquetes pequeños, así como también la interconexión con terminales o redes X.25

Las Estaciones Terminales del Usuario, mencionadas en lo sucesivo como Terminales Móviles (MT), proveen la interface del usuario con el sistema. La MT puede ser usada mientras se está moviendo o estando inmóvil y provee la sensación de funcionalidad comúnmente encontrada en los equipos del tipo "celular".

Todas las comunicaciones desde la MT serán efectuadas usando la banda "L". El satélite traslada la señal de la banda "L" a la banda "Ku" para el regreso de la señal a los elementos de control en tierra. Todas las comunicaciones desde los elementos de control en tierra serán efectuadas usando la banda "Ku". El satélite traslada la señal de la banda "Ku" a la banda "L" para su regreso a la MT.

El área de servicio cubre el área de las tres zonas especificadas para el Sistema de Satélites Solidaridad, la cual incluye la República Mexicana, parte de los Estados Unidos de Norteamérica y parte de Sudamérica.

El SISTEMA está compuesto de varios subsistemas principales. Cada subsistema principal tiene un grupo de funciones específicas y esta provisto de configuración redundante para no permitir la interrupción de los servicios en caso de falla de la ruta primaria de operación. Es posible la expansión del SISTEMA añadiendo subsistemas apropiados.

El SISTEMA es controlado por un Sistema de Cómputo para la Administración de la Red (NMSC). El NMSC primario (PNMSC) es responsable de la coordinación del SISTEMA, la administración y monitoreo de los recursos, esto incluye el establecimiento de llamadas, servicios de mensajería de paquetes, monitoreo de alarmas y control de los equipos redundantes, administración de las bases de datos del usuario y sistemas de seguridad. El PNMSC tiene un NMSC redundante, también conocido como "de respaldo en caliente", llamado NMSC secundario (SNMSC). El SNMSC puede reemplazar las funciones del PNMSC en caso de que éste fallara. Un tercer NMSC (TNMSC), también conocido como "de respaldo en frío", puede tomar el control del sistema en caso de que ocurra la falla de del PNMSC y del SNMSC. El NMSC se comunica con los otros subsistemas a través de un ethernet dual.

La interface del operador con el NMSC se da a través de las computadoras de la Interface Hombre Máquina (MMI), las cuales están conectadas al ethernet. La MMI utiliza una Interface Gráfica del Usuario (GIU) como el formato de interface.

El PNMSC controla el establecimiento de llamadas (voz, FAX y datos) y provee el servicio de mensajería de paquetes a través del sistema de Multiplexaje por División de Tiempo (TDM). El sistema TDM es controlado por un Mobile Terminal Front End Processor (MT FEP) y se comunica con las MTs a través del satélite.

La interface hacia el PSTN o redes privadas, se lleva a cabo a través de las Estaciones de Interconexión (GW). La GW provee la conexión entre la MT y el PSTN o una red privada. Las estaciones GW son responsables de la supervisión y control de las llamadas sobre la Interface Aérea hacia la MT, la GW también controla la interface hacia el PSTN o hacia una red privada.

### **3.2 Descripción general de los elementos del SISTEMA.**

#### **3.2.1 Componentes principales del SISTEMA.**

El SISTEMA está compuesto esencialmente de los siguientes elementos principales, los cuales se pueden observar en la figura al final de la descripción.

- **Segmento Espacial**

El segmento espacial consiste de uno o dos satélites. El satélite está equipado con un transpondedor de banda L a banda Ku y de banda Ku a banda L, los satélites de la serie Solidaridad cuentan con esas características. El SISTEMA puede ser diseñado para usar hasta tres satélites, sin embargo el presente diseño contempla el uso de solamente uno.

- **Terminal Móvil (Estación Terminal del Usuario)**

La Terminal Móvil (MT) es la terminal del cliente o usuario final. La MT provee todas las facilidades requeridas para comunicarse con el segmento terrestre. Todas las comunicaciones de la MT con el satélite son usando la banda L.

- **Segmento Terrestre**

El segmento terrestre consiste de las interfaces de RF hacia el satélite y de las interfaces hacia el PSTN u otras redes privadas. El segmento terrestre contiene también al NMSC. Todas las comunicaciones del segmento terrestre con el satélite son usando un subsistema en banda Ku.

El segmento terrestre contiene las funciones de inteligencia y control de la red para el SISTEMA. El segmento terrestre está compuesto por varios subsistemas. Estos subsistemas desempeñan roles específicos en el establecimiento y control de los canales de comunicación.

El segmento terrestre puede ser subdividido en tres grupos básicos.

- a) El Sistema de Administración de la Red (NMS), el cual es responsable de toda la coordinación y operación del SISTEMA. El NMS consiste del Sistema de Computadoras para la Administración de la Red (NMSC), del subsistema de señalización TDM y de un equipo de computo común llamado procesador de Supervisión Remota (RPS).
- b) Estación de Interconexión (GW) y/o Estaciones Remotas de Interconexión, las cuales proveen las conexiones de los SCPC a circuitos conmutados entre la MT y el PSTN o redes privadas.
- c) El subsistema de RF provee la interface de RF hacia el satélite. Este incluye antenas, Amplificadores de Bajo Ruido (LNA), Amplificadores de Alta Potencia (HPA), Convertidores de Subida/Bajada y al equipo redundante asociado.

### 3.2.2 Configuración del SISTEMA

#### ■ Sistema de Administración de la Red (NMS)

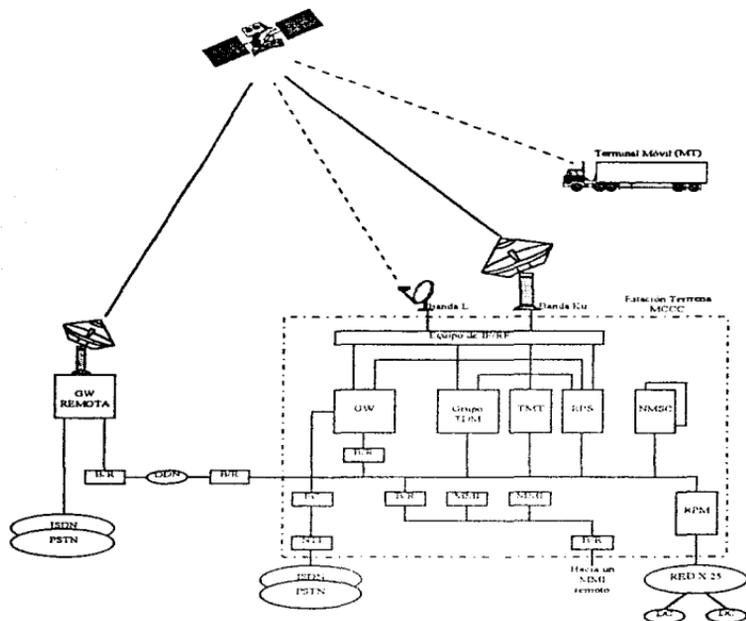
Este grupo lógico es responsable del control del SISTEMA y está compuesto de dos partes principales:

a) Sistema de Computadoras para la Administración de la Red (NMSC). Estas computadoras son responsables de la coordinación y operación del SISTEMA. El NMSC controla todo establecimiento de llamadas, bases de datos del usuario, supervisión y control de los equipos primarios y redundantes.

Debe haber varios NMSCs. Uno es el NMSC primario (PNMSC), otro debe ser un NMSC secundario (SNMCS) y debe haber un NMSC terciario (TNMSC). Solo un NMSC puede operar el sistema a la vez, los restantes NMSC son respaldos. El PNMSC es la computadora que tiene corriendo el sistema, con el SNMCS como un respaldo "caliente". El TNMSC es usado como un respaldo "frio".

Los NMSCs se comunican con el operador del sistema a través de las computadoras de Interface Hombre Maquina (MMI).

En adición al NMSC, la sala de cómputo (site) puede ser equipado con procesador de supervisión remota (RPS) para control y supervisión de alarmas. Este procesador es operado bajo el control del PNMSC.



[figura 3.2 : Diagrama de bloques del Sistema]

**b) Sistema de señalización Multiplexado por División de Tiempo (TDM).** Este sistema provee la trayectoria de comunicación entre el PNMSC y las Terminales Móviles (MTs). Las MTs pueden solicitar llamadas de circuitos conmutados o pueden ser informadas de llamadas entrantes a través de este sistema. El sistema TDM también es usado para el servicio de mensajería. Además, el TDM contiene una Tabla de Boletines para transmitir parámetros importantes y el estado de operación del SISTEMA hacia las MTs.

El sistema de señalización TDM está distribuido en Grupos TDM. Cada Grupo TDM consiste de un outbound TDM de transmisión (del NMS hacia las MTs) y varios canales de inbound (de las MTs hacia el NMS). El outbound de transmisión (OBTDM) contiene la Tabla de Boletines con información para las MTs, por ejemplo: frecuencias, estado del SISTEMA, etc. Esta transmisión también contiene petición de llamadas y paquetes de mensajes para las MTs. Las transmisiones de inbound (IBTDM), contienen iniciaciones de llamadas de las MTs o respuestas hacia el NMS.

Cada Grupo TDM es controlado por un sistema Mobile Terminal Front End Processor redundante (MTFEP). El MTFEP esta bajo el control directo del PNMSC a través del MNE.

Cada Grupo TDM requiere acceso a un subsistema de RF para comunicarse con las MTs. Además, cada Grupo TDM soporta demoduladores para monitoreo de sus transmisiones de OBTDM a través del satélite, estos demoduladores OBTDM requieren de un subsistema de recepción en banda L.

#### ■ Estaciones de Interconexión

La Estación de Interconexión (GW) provee el enlace de comunicación entre las MTs y la PSTN o redes privadas. Este enlace de comunicaciones está soportado por unidades de canal del tipo Single Channel Per Carrier (SCPC). Las unidades de canal son la interfaz hacia la MT a través del subsistema de RF en banda Ku y hacia la PSTN o red privada a través de las interfaces ISDN o 4W E&M. Ambos estándares, el R2 y No. 7 de la CCITT, pueden ser soportados.

La GW está bajo el control directo del PNMSC. Todos los parámetros de una llamada, tales como el número de la MT que llama y la que es llamada, frecuencia del canal satelital, potencia de transmisión, tipo de llamada (voz, FAX o datos), etc., son provistos por el PNMSC. La GW es responsable de la operación y supervisión, tanto de la Interface Aérea hacia la MT, como de línea de interface con la PSTN o red privada. Una vez que la llamada es establecida, esta bajo el control de la GW.

La GW esta compuesta por procesadores de dos tipos:

a) El Procesador Remoto Concentrador (RPC). Los RPCs son la inteligencia existente en la GW. Una GW tiene típicamente dos RPCs, uno actuando como principal y el otro como de

**respaldo "caliente". Solo puede haber un RPC activo por GW. La GW coordina y supervisa sus propios recursos, estos recursos consisten primordialmente de grupos de unidades de canal. El PNMSC y el RPC se comunican a través del MNE.**

**b) El Procesador Remoto Distribuido (RPD). El RPD es el procesador realmente responsable del funcionamiento de las unidades de canal individual y de mantener Interfaces Aéreas individuales y a los protocolos de la red para llamadas de circuitos conmutados.**

**Un RPD puede soportar solamente un tipo de PSTN o un tipo de interface de una red privada (PRA o 4W E&M).**

**El RPD está bajo el control del RPC a través del Msat Gateway Ethernet (MGE). El RPD es no redundante y controla hasta 60 unidades de canal.**

**Las unidades de canal RPDs están conectadas al subsistema de banda Ku para comunicarse con las MTs. Una unidad de canal solo puede soportar una llamada a la vez, esto es SCPC. La RPD también proveen interfaces seriales para los Controladores CUG (CUGC).**

#### ■ Estaciones Remotas de Interconexion

**El sistema puede tener Estaciones Remotas de Interconexión, las cuales tienen la misma funcionalidad que las Estaciones de Interconexión normales. Las Estaciones Remotas de Interconexión contienen equipo de RF para banda Ku, para comunicarse con las MTs. Las Estaciones Remotas de Interconexión se comunican con el NMSC a través de una línea terrestre dedicada o a través de su equipo de comunicación satelital en banda Ku.**

#### ■ Subsistema de RF

**El subsistema de RF provee la capacidad de transmisión y recepción de señales para efecto de comunicación con las MTs a través del satélite.**

**Varios subsistemas pueden compartir equipo común para banda Ku; por ejemplo, un NMSC TDM y una GW pueden ser colocadas de manera que utilicen el mismo equipo para banda Ku. Mas tarde, pueden añadirse GWs adicionales al mismo equipo para banda Ku. Es posible que los GWs remotos cuenten con su propio equipo para banda Ku. En todos los casos, el MNE debe estar conectado.**

**El subsistema para banda Ku consiste típicamente de configuraciones redundantes para Tx y Rx. La conmutación automática a la cadena de respaldo, se hace normalmente por medio de un control local autónomo; sin embargo, el PNMSC puede forzar la conmutación.**

**Se requiere un subsistema para banda Ku separado para usar cada satélite, en cada sitio.**

**También se requiere un subsistema de RF para banda L con el propósito de dar apoyo a la Compensación Automática de Frecuencia (AFC) para banda Ku y al monitoreo del OBTD.**

El subsistema para banda L realmente no transporta tráfico alguno, sin embargo éste es redundante.

### 3.3 Capacidad.

Dimensionamiento del SISTEMA.

El SISTEMA puede soportar la máxima configuración siguiente:

Estaciones de Interconexión (GW)	:	15
Unidades de canal SCPC activas	:	1200
Grupos TDM activos	:	3
Unidades de interface para mensajes	:	2
Numero de MTs	:	120,000

### 3.4 Control de comunicaciones, acceso y señalización.

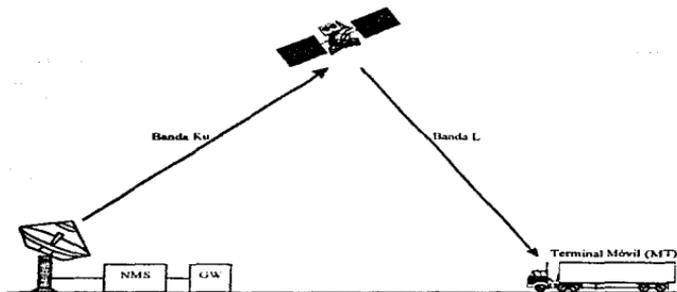
El SISTEMA provee circuitos conmutados para llamadas de voz, FAX y datos, así como también mensajería de paquetes. Para todos los casos, la llamada se establece inicialmente por medio de la comunicación entre el NMSC y la MT a través del TDM, o a una red a través de la GW y el MNE.

Después de que el NMSC se comunica con la MT y establece la identidad de la MT y el tipo de llamada que esta haciendo, el NMSC determina los recursos requeridos y pasa la llamada a la GW. La GW se relaciona con la MT en un canal SCPC asignado por el NMSC; entonces la GW toma el control de la llamada hasta su conclusión. La GW es responsable de establecimiento y finalización de las llamadas en la interface terrestre de la red hacia la PSTN o red privada.

Para el caso de mensajería de paquetes, el NMSC y la MT intercambian mensajes y el NMSC comunica el mensaje a una red de paquetes o terminal, a través de una Unidad de Interface para Mensajes.

Para todos los casos, el PNMSC es informado del establecimiento y finalización de las llamadas, el PNMSC también mantiene un Historial de Llamadas y una Bitacora de Eventos para efecto de estadísticas y mantenimiento del SISTEMA.

A continuación se ilustrará el proceso de la comunicación en el sistema, teniendo el caso en el cual la estación terrena de interconexión (GW) se encuentre ubicada en el mismo sitio que el NMS.

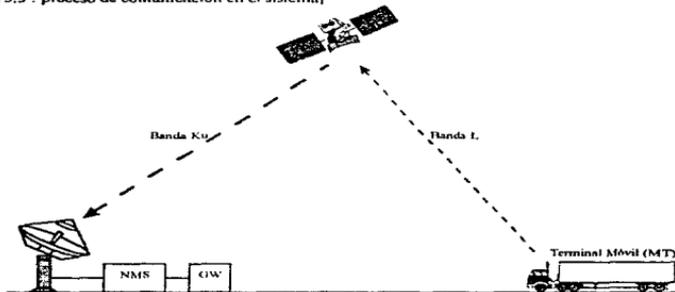


En la figura se observa la condición inicial donde el NMS se comunica con las unidades móviles (MT) a través de la señalización contenida en la portadora CHITDM.

Por medio de esta portadora se le proporciona la siguiente información a la MT:

- Referencia para frecuencia y reloj.
- Información de señales de comando y control.
- Asignación de canales cuando se establece una llamada.
- Mensajería de paquetes de información.

[figura 3.3 : proceso de comunicación en el sistema]

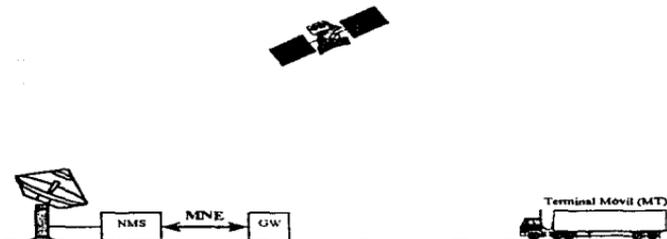


En la figura se observa la comunicación entre la unidad móvil (MT) y el NMS a través de la señal IBTDM.

Esta portadora tiene las siguientes funciones y características:

- Canal de acceso aleatorio.
- Actualización de la bitácora de eventos en la MT.
- Canal de respuesta.
- Reconocimiento de los comandos del NMS.
- Transmisión de paquetes de información.

[figura 3.4 : proceso de comunicación en el sistema, continuación]



En la figura se observa la comunicación entre la estación de administración del sistema (NMS) y la estación terrena de interconexión (GW). En este caso tanto el NMS como la GW se encuentran en el mismo sitio por lo que se comunican a través de una red LAN llamada MNE.

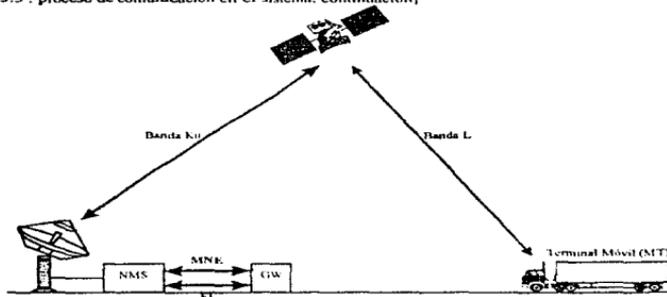
La comunicación de la GW hacia el NMS es la siguiente:

- Actualización de la bitácora de eventos en la GW
- Pérdida de un canal para establecer comunicación con una unidad móvil.
- Reconocimiento de los comandos del NMS.

La comunicación del NMS hacia la GW es la siguiente:

- Asignación de canales para la GW.
- Información de control y actualización del estado del sistema.

[figura 3.5 : proceso de comunicación en el sistema, continuación]



En la figura se observa la comunicación entre la unidad móvil (MT) y la estación terrena de interconexión (GW), pasando por la estación de administración del sistema (NMS). En este momento la comunicación por medio del satélite se establece por medio de un par de canales SCPC.

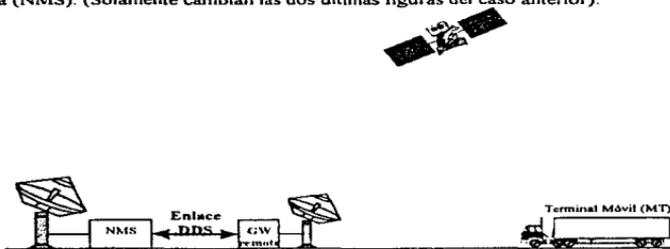
Los circuitos de comunicación son los siguientes:

- Canal SCPC para transmisión de VOZ/DATOS/FAX a través del satélite
- La comunicación a través del MNE se describe en la figura anterior.

- Canal en frecuencia intermedia (FI) para transmisión de VOZ/DATOS/FAX entre la GW y el NMS

[figura 3.6 : proceso de comunicación en el sistema, continuación]

A continuación se ilustrará el caso cuando la estación terrena de interconexión (GW) se encuentra en un sitio remoto a donde se encuentra ubicada la estación de administración del sistema (NMS). (Solamente cambian las dos últimas figuras del caso anterior).



En la figura se observa el caso cuando la estación terrena de interconexión (GW) se encuentra ubicada en un sitio remoto con respecto a la estación de administración del sistema (NMS). La comunicación entre la GW y la NMS se da a través de un enlace de servicio digital de datos (DDS).

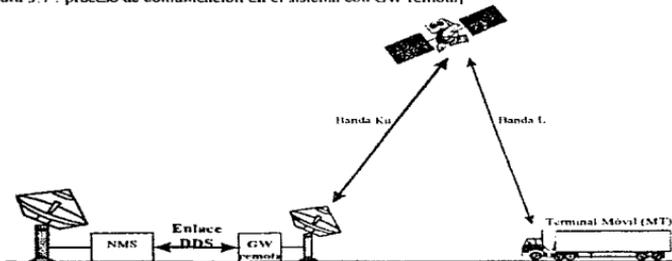
La comunicación de la GW hacia el NMS es la siguiente:

- Actualización de la bitácora de eventos en la GW.
- Petición de un canal para establecer comunicación con una unidad móvil.
- Reconocimiento de los comandos del NMS.

La comunicación del NMS hacia la GW es la siguiente:

- Datos con información del comportamiento para las unidades AFC.
- Asignación de canales para la GW.
- Información de control y actualización del estado del sistema.

[figura 3.7 : proceso de comunicación en el sistema con GW remota]



En la figura se observa la comunicación entre la unidad móvil (MT) y una estación terrena de interconexión (GW) remota. En este momento la comunicación a través del satélite se establece por medio de un par de canales SCPC.

Los circuitos de comunicación son los siguientes:

- Canal SCPC para transmisión de VOZ, DATOS Y FAX, a través del satélite.
- La comunicación a través del enlace DDS se describe en la figura anterior.

[figura 3.8 : proceso de comunicación en el sistema con GW remota, continuación]

### 3.4.1 Descripción de la comunicación en el SISTEMA.

Las comunicaciones entre los usuarios de la red de comunicación móvil satelital, usan dos métodos de comunicaciones, el TDM/TDMA y el SCPC. El tipo de información usada para señalización y mensajería es enviada a través del TDM/TDMA; mientras los módems de canal SCPC son usados para transmisión de voz, FAX y datos. Los sistemas para los servicios de voz, FAX, datos y mensajería de paquetes son descritos a continuación.

#### ■ VOZ

El SISTEMA permite el establecimiento de circuitos de voz conmutados, full duplex, digitales entre una Estación Terminal del Usuario y las siguientes opciones.

- a. Otra Estación Terminal del Usuario (a través de una GW)
- b. Un usuario terrestre (a través de una GW con acceso a PSTN).

El codec de voz empleado por el SISTEMA opera a 4800 bps mas el FEC, lo cual lleva a la velocidad del canal hasta 6600 bps y es transmitida en un canal de 5kHz. El codec emplea un algoritmo desarrollado por Digital Voice Systems Inc. (DVSI), especialmente para el ambiente móvil. El algoritmo, Excitación Multi-Banda Mejorada (IMBE), usa tecnología DSP para proveer calidad en la voz a 4800 bps. Las llamadas son establecidas a través del NMSC, el cual asigna un canal SCPC para la llamada en una base DAMA. La llamada de voz puede ser tanto una transmisión continua como activada por voz, la cual conserva los recursos del satélite.

#### ■ DATOS

El SISTEMA permite el establecimiento de circuitos conmutados, full duplex para canales de datos entre una Estación Terminal del Usuario y un usuario terrestre, (a través de una GW con acceso PSTN)

Los circuitos de datos pueden operar, ya sea a 2400 bps en transmisión asincrónica con una relación de 3/4 para el código convolucional de corrección de errores Forward Error Correction (FEC), o a 4800 bps sin FEC. Un esquema de Repetición Automática de Requisiciones (ARQ) es empleado a través del enlace satelital para mantener el desempeño del circuito punto a punto.

Algunos canales en la GW están configurados con equipo apropiado para utilizar el servicio de datos. Cada UTS contiene también una tarjeta de interfase, la cual permite el acceso al servicio. La UTS tiene asignado un número telefónico diferente para ser usado para el servicio de datos.

Quando se inicia una llamada de datos, la UTS usa un campo en el mensaje del establecimiento de la llamada para informar al NMSC que éste necesita recursos dedicados para una llamada del tipo datos.

#### ■ FACSIMIL

El SISTEMA provee servicio de comunicación punto a punto para facsimil de Grupo 3 entre una Estación Terminal del Usuario y un usuario terrestre ( a través de una GW con acceso a PSTN).

Los circuitos de facsimil operan, ya sea a 2400 bps en transmisión con una relación de 3/4 para el código convolucional de corrección de errores Forward Error Correction (FEC), o a 4800 bps sin FEC. Un esquema de Repetición Automática de Requisiciones (ARQ) es empleado a través del enlace satelital para mantener el desempeño del circuito punto a punto.

Algunos canales específicos en la GW estan configurados con equipo para utilizar el servicio de facsimil. Cada UTS tambien contiene una tarjeta de interface para permitir el acceso al servicio. La UTS tiene asignado un numero telefónico diferente para ser usado para el servicio de facsimil.

Quando se inicia una llamada de facsimil, la UTS usa un campo en el mensaje del establecimiento de la llamada para informar al NMSC que este necesita recursos dedicados para una llamada del tipo facsimil

#### ■ OPERACIÓN EN GRUPO CERRADO DE USUARIOS (CUG)

Las redes privadas pueden implementar el concepto de un Grupo Cerrado de Usuarios (CUG) para proveer un servicio del estilo de radio móvil privado entre las Estaciones Terminales de los Usuarios y la GW con comunicaciones de voz, datos o facsimil.

En el modo CUG, la comunicacion esta limitada a las UTSs dentro del mismo CUG; sin embargo una UTS puede ser programada para pertenecer a varios CUGs.

La operación en modo CUG puede soportar los diferentes tipos de llamadas

##### a) Llamada de Grupo Compartido

Este tipo de CUG requiere un controlador externo de CUG. lo anterior es facilitado por una computadora externa conectada por un enlace RS-232 en el RPD donde el CUG esta ubicado.

El operador del CUG está habilitado para transmitir a todos los miembros del CUG, pero solo una UTS puede tener permiso para transmitir en cualquier momento. Esto

proporciona comunicación full duplex entre el operador del CUG y la UTS que tiene permiso para transmitir.

Cualquier otra UTS solo puede monitorear la transmisión del operador del CUG y puede pedir permiso para transmitir

**b) Llamada en Difusión (broadcast)**

Este tipo de CUG requiere de un operador CUG usando un UTS seleccionado.

Un UTS seleccionado (operador) está habilitado para transmitir a todos los miembros del CUG, pero solo una UTS tiene permiso para transmitir en cualquier momento; lo anterior provee una comunicación full duplex entre el Operador UTS y la UTS que tiene permiso de transmitir.

Todas las otras UTSs solo pueden monitorear la transmisión del Operador UTS y pueden pedir permiso para transmitir

En este modo de operación, solo la UTS que tiene permiso para transmitir puede ser recibida por el Operador UTS

**c.i) Llamada Simplex (línea compartida)**

Este tipo de CUG no requiere de un Operador CUG.

Una UTS, la cual tiene permiso para transmitir, está habilitada para transmitir a todos los miembros del CUG, pero solo una UTS tiene permiso para transmitir en cualquier momento; esto provee comunicación half duplex entre UTSs.

Todas las otras UTSs pueden monitorear la transmisión de la UTS permitida, y pueden pedir permiso para transmitir

**c.ii) Llamada Simplex (despacho)**

Este tipo de CUG requiere un operador externo del CUG

El operador externo del CUG está habilitado para transmitir a todos los miembros del CUG en una base de comunicación presionar-para-hablar. Solo una UTS tiene permiso para transmitir en cualquier momento, esto provee una comunicación half duplex entre el operador del CUG y la UTS que tiene permiso para transmitir.

Una UTS normalmente no puede transmitir hacia o recibir desde otra UTS en este modo, a menos que el operador del CUG enlace las transmisiones de las UTSs como resultado de un control local

■ **Mensajería de Paquetes.**

El SISTEMA provee el servicio de mensajería de paquetes entre una UTS y los siguientes elementos:

- a) Un centro de despacho conectado hacia otra UTS
- b) Un centro de despacho conectado hacia el NMSC a través de una red X.25
- c) Un centro de despacho conectado hacia el NMSC a través de una línea X.25/X.32 dedicada.

Las comunicaciones a través del enlace X.25 son seleccionadas por el operador.

El SISTEMA soporta los siguientes tipos de mensajería de paquetes:

- a) Mensaje normal
- b) Mensaje en una dirección (sin respuesta)
- c) Mensaje con bajo consumo de potencia
- d) Mensaje de alarma

**Mensaje Normal**

Cada Mensaje Normal originado, tiene 24 bits de información del usuario y se espera como respuesta un reconocimiento con 44 bits de información del usuario.

Los mensajes multipunto son soportados por medio de un número de referencia del originador de la llamada, el cual es asignado en cada paquete del mensaje. Un total de hasta 32 mensajes pueden ser considerados como un bloque de datos para ser enviados.

**Mensaje en una dirección**

Cada mensaje en una dirección originado, tiene 29 bits de información del usuario. Este mensaje no tiene reconocimiento por parte del NMSC, solo requiere de las terminales/equipos del usuario final para reconocer el mensaje.

### **Mensaje con bajo consumo de potencia.**

Cada mensaje con bajo consumo de potencia originado, tiene 24 bits de información del usuario y se espera un reconocimiento como respuesta, con 44 bits de información del usuario. A este tipo de mensaje también se le hace referencia como un mensaje de Control Supervisor y Adquisición de Datos (SCADA).

El Modo SCADA (dormido) permite a una UTS permanecer en un modo de bajo consumo de potencia (dormido) y "despertar" en ciertos momentos para revisar los mensajes SCADA que llegan.

Cada vez que es recibido un mensaje SCADA, se le requiere a la UTS responder con un reconocimiento. Los mensajes SCADA multipunto son soportados por medio de un número de referencia del originador de la llamada, el cual es asignado en cada paquete del mensaje.

### **Mensaje de Alarma**

El SISTEMA soporta la transferencia de Mensajes de Alarma originados por una UTS hacia un centro de despacho designado. Cada mensaje de alarma originado tiene 48 bits de información del usuario previamente formateada, se espera por respuesta un reconocimiento con 41 bits de información de usuario.

El mensaje de alarma está formateado para incluir el tipo de alarma y datos como latitud y longitud si estos están disponibles en la UTS por medio de un equipo de navegación como un receptor GPS.

El NMSC responde al reconocimiento de los mensajes de alarma y los turna entonces hacia un centro de despacho designado.

### **3.4.2 Canales de señalización**

Canales de señalización entre el NMSC, GW y MTs.

Los canales de señalización usados en el SISTEMA son el Outbound TDM, Inbound TDMA y canales SCPC.

Los canales de señalización usados por el NMSC para comunicarse con las UTSs están conformados dentro de un Grupo TDM/TDMA. Los canales de señalización están clasificados como OB o IB (outbound o inbound).

El canal de outbound es usado por el NMSC para transferir información del SISTEMA, mensajes e información de establecimiento de llamadas hacia las UTSs en un modo continuo.

**TDM.** Los canales de inbound son usados por el NMSC para recibir establecimientos de llamadas e información de mensajería desde las UTSS en una base TDMA. Los canales de IB TDMA son divididos mas adelante en Canales de Respuesta y Canales de Acceso Aleatorio. Los Canales de Respuesta son usados para recibir respuesta a los mensajes generados por el NMSC, mientras que los Canales de Acceso Aleatorio son usados para peticiones de llamadas y transmisión de información del tipo de mensajes iniciada por las UTSS.

Esta comunicación de señalizaciones en esos canales usa una estructura de trama compuesta de Unidades de Señalización (SUs) las cuales llevan la información de señalización y una Palabra Única (UW) de 32 bits, la cual es usada por los demoduladores para adquirir la señal.

La información del SISTEMA es transmitida hacia las UTSS desde el NMSC usando el concepto de una Tabla de Boletines (BB) Esta BB es transmitida en el canal continuo OB TDM y es monitoreada por todas las UTSS

Los canales SCPC son usados para proporcionar comunicación full duplex entre las UTSS o entre las UTSS y las GWs. Los canales SCPC tambien usan SUs para transferir señalizaciones durante una llamada. La estructura de la trama es la misma para todos los canales SCPC, pero varia dependiendo del tipo de servicio que este usando el canal.

#### ■ Canal Outbound Time Division Multiplex (OBTDM)

El canal OBTDM es una transmisión continua desde el CIES la cual contiene comandos del sistema, información de control y mensajes para las UTSS y las IESs

El SISTEMA puede tener hasta tres canales OBTDM operando al mismo tiempo. El software del SISTEMA soporta hasta 16 canales OBTDM

El OBTDM es usado para proporcionar información contenida en las BB para las UTSS o usuarios del SISTEMA. La comunicación en el OBTDM es realizada a 9600 simbolos por segundo

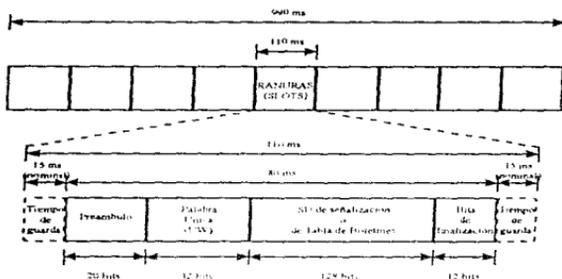
La estructura del frame tiene una duración de 110 ms , como puede apreciarse en la figura. El SISTEMA basa su confiabilidad al ofrecer N repeticiones para cada BB, N puede ser 1,2 ó 3. Para consideraciones de desempeño, N es declarado como 2.



### Canales de Respuesta.

Los canales usados para responder a los comandos del NMSC y a los mensajes, son transmitidos en forma de ráfagas de modo reservado para los cuales la asignación del canal TDMA es determinado por la posición del comando a ser respondido/reconocido en la trama del Outbound TDM. El Canal de Respuesta es también transmitido a una velocidad de datos de 2400 símbolos por segundo. Un total de hasta 8 Canales de Respuesta pueden ser asociados a cada OBTDMA.

El número de canales IBTDMA de Acceso Aleatorio y de Respuesta es configurado por el NOCC y es definido en la BB.



100: Trama de Señalización (128 bits) (128 bits)

20: Tiempo de guarda (20 bits)

32: Palabra Trama (175W) (32 bits)

[Figura 3-10 formato del canal de señalización IBTDMA]

### ■ CANALES SCPC

Para establecer una llamada, el NMSC asigna normalmente dos canales a una UTS y a una GW apropiada, usando método de Asignación Múltiple por Demanda (DAMA).

La señal del canal asignado desde el NMSC incluye también información de potencia y ancho de banda para la UTS, tomando en cuenta el tipo de llamada, ubicación de la terminal, configuración de la terminal, calidad del servicio y carga en el SISTEMA (transpondedor).

Durante la operación SCPC se transmite información que es empleada para señalización y control relacionada con la llamada, así como información de la carga de llamadas y señalización DTMF.

Hay cuatro modos de operación relacionados con la operación de los canales SCPC, como se lista a continuación. Para todos los casos la velocidad del canal es 6600 bps.

- a. Modo de establecimiento de llamada.
- b. Modo de voz.
- c. Modo de datos.
- d. Modo de facsimil

#### Operación del Canal de Señalización y Estrategia de Repetición

El sistema usa una estrategia de repetición, por lo cual las SUs son repetidas en varias tramas y retransmitidas en diferentes canales. Esta estrategia de repetición ha sido diseñada para proveer el mínimo de pérdidas debidas a problemas en el OBTDMD o a colisiones de las peticiones de los usuarios. La estrategia de repetición se describe a continuación:

#### Operación del Canal de Respuesta Inbound TDM

Los canales de respuesta son usados para reconocer y responder a los mensajes y comandos recibidos por la UTS en el Outbound TDM. Un protocolo flexible de repetición de paquetes es definido para los canales de señalización para combatir los efectos de problemas de comunicación.

El NMSC indica, en la BB, el número de repeticiones de los paquetes para ser retransmitidos por la UTS, tanto para los paquetes de señalización y paquetes de mensajería como para la "Configuración de Repeticiones". El SISTEMA usa nominalmente una estrategia de dos repeticiones, esto es, que el paquete se envía 3 veces. La UTS interpreta esta información para definir cuándo y que tan seguido debe transmitir reconocimientos. La relación entre el Outbound TDM y los paquetes de respuesta contenidos en los canales inbound de señalización, se explica en el siguiente párrafo para paquetes de señalización enviados tres veces, (2 repeticiones).

**La UTS calcula el canal de inbound (frecuencia) y la ranura en los cuales puede transmitir, (en respuesta a información del outbound), en dos etapas. Una etapa es para seleccionar el canal inbound de Respuesta correcto y la segunda etapa es para seleccionar la ranura correcta en ese canal.**

#### **Selección del Canal Inbound de Respuesta**

**La posición del paquete relevante de señalización en la trama del OBTDm, indica a la UTS cuál de los canales inbound de respuesta debe ser seleccionado**

**Un paquete de señalización, recibido en la primera posición de la unidad de señal, después de una palabra única, será reconocido en el canal de Respuesta 1. Si la unidad de señal es recibida en la octava ranura del OBTDm, será usado el canal de respuesta 8, etc. Selección de las Ranuras de Respuesta y la Estrategia de Repetición**

**Para contrarrestar los efectos del desvanecimiento de la señal, las SUs del OBTDm y del Inbound TDM de Acceso Respuesta/Aleatorio, son repetidas por un periodo igual a tres frames OBTDm, esto es 330 ms para un OBTDm de 9600 bps**

**Cada SU que es transmitida en el OBTDm o en los canales Inbound de Acceso Respuesta/Aleatorio, tiene un Número de Repetición para indicar su posición en la secuencia de repeticiones. Este número cuenta de manera regresiva desde la SU inicial para cada repetición. Un número de repeticiones igual a cero indica que esa es la última repetición.**

**La UTS obtiene de la BB el número de repeticiones para sus transmisiones de respuesta.**

**La SU de respuesta, formateada dentro de una ráfaga de respuesta, es transmitida en una ranura de tiempo específica del canal de respuesta requerido**

**La ráfaga de respuesta comienza 150 ms después del último bit de la última repetición, o repetición esperada, de la SU relevante del OBTDm. La ráfaga es repetida de acuerdo con el número de repeticiones de la UTS, obtenido de la BB**

**La UTS puede terminar las repeticiones de las SUs transmitidas si la UTS recibe respuesta a la SU transmitida. Por ejemplo, una UTS está usando una estrategia de cuatro repeticiones, después de que la tercera repetición es transmitida, la UTS decodifica una SU recibida en respuesta a la transmisión, en ese momento la UTS debe terminar las repeticiones.**

#### **Operación del Canal de Inbound TDM de Acceso Aleatorio**

**La señalización de la llamada del circuito conmutado requerida y los servicios de mensajería comparten un número de canales inbound ALiOHA ranurado. Pueden asignarse varias combinaciones de servicios o prioridades a cada Canal Inbound de Acceso/Mensajería**

**Aleatorio.** Estos canales se definen en la BB. Cualquier cambio en la configuración del canal de Inbound es transmitido a la UTS usando la BB relevante.

La UTS usa la información corriente de la BB para determinar cuáles canales son aplicables para el Acceso de Petición/Mensaje que la UTS está por enviar. La UTS selecciona de manera aleatoria los canales de esa lista cuando transmite o retransmite la Petición de Acceso o el mensaje.

#### **Estrategia de Repetición del Inbound TDM.**

Para contrarrestar los efectos del desvanecimiento de la señal, las SUs tanto del OBTD M como del Inbound TDM de Acceso Respuesta/Aleatorio son repetidas por un periodo igual a tres frames del OBTD M, esto es 330 ms para un OBTD M de 9600 bps.

Cada SU que es transmitida en el OBTD M o en los canales Inbound de Acceso Respuesta/Aleatorio, tiene un Número de Repeticiones para indicar su posición en la secuencia de repeticiones. Este número cuenta de manera regresiva desde la SU inicial para cada repetición. Un número de repeticiones igual a cero indica que esa es la última repetición. La SU y sus repeticiones son transmitidas en el mismo canal.

La UTS obtiene el número de repeticiones para su Acceso Aleatorio, Mensajes y transmisiones de Mensajes de Emergencia, a partir de la BB. La SU, formateada (contenida) dentro de una ráfaga, es transmitida en una ranura de tiempo conveniente del canal de respuesta elegido.

La UTS debe terminar las repeticiones de las SUs transmitidas si recibe respuesta de lo transmitido. Por ejemplo, para una UTS que usa una estrategia de cuatro repeticiones, después de que la tercera repetición es transmitida, la UTS decodifica una SU en respuesta a la transmisión; en ese momento la UTS debe terminar las repeticiones.

#### **Protocolo de Retransmisiones para Asignación de Canales**

En el caso de que no sea recibida la Asignación de Canal dentro de un tiempo determinado (timeout), el cual se define en la BB, la UTS selecciona de manera aleatoria un valor entre 1 y un intervalo de valor aleatorio especificado en la BB. Este valor es medido en ranuras de tiempo de Inbound (incrementos de 110 ms) y se le hace referencia como el intervalo aleatorio. La UTS retransmite, después del intervalo aleatorio, la Petición de Asignación acompañada de repeticiones en un canal seleccionado aleatoriamente de los indicados en la BB corriente. Si aún no se recibe una asignación de canal, entonces la UTS aplicará un algoritmo definido en la BB (ALGORTMO=1). Este algoritmo especifica que después de cada retransmisión sucesiva, la UTS doblará el valor del intervalo aleatorio. Los intentos de retransmisiones continuarán con el número de intentos especificados en un campo de tiempo de la BB.

**Repeticiones de la SU del SCPC.**

Durante cualquier modo de SCPC, las SUs que sean transmitidas deben ser repetidas de acuerdo con el número de repeticiones indicadas en la BB. Las SUs que sean repetidas deberán ocupar tramas consecutivas (120 ms).

#### 4.- Características del segmento espacial y cobertura del Sistema de Satélites Solidaridad.

En este capítulo se hablará de las características de los satélites que conforman el Sistema de Satélites Solidaridad y se hará una comparación con sus predecesores los Satélites Morelos.

Entre los puntos más importantes se mencionarán las zonas de cobertura (*footprints*), los transpondedores, el arco satelital geostacionario, etc

##### 4.1 Arco orbital geostacionario.

El arco orbital geostacionario con visibilidad para México es de  $60^{\circ}$  W a  $146^{\circ}$  W, considerando una elevación mínima de  $20^{\circ}$  desde una estación colocada en cualquier parte del país. Este arco es el más saturado a nivel mundial, ya que también es útil a los Estados Unidos de América (USA).

El sistema de satélites Solidaridad se compone de dos naves espaciales de estabilización triaxial marca Hughes Aircraft modelo HS-601, con una vida útil estimada de 14 años. El Solidaridad I ocupa la posición orbital de  $109.2^{\circ}$ W, el Solidaridad II ocupa la posición orbital que antes ocupaba el Morelos I, en  $113.0^{\circ}$ W, (ver figura 4.1). Ambos satélites tienen capacidad de dar servicio útil en las bandas C, Ku y L.



[figura 4.1 : posición y colindancia de los satélites SOLIDARIDAD y MORELOS]

##### 4.2 Características generales de los Satélites Solidaridad.

Un satélite es un sistema muy complejo y delicado, integrado por varios subsistemas, cada uno de ellos es igualmente importante, pues su probable falla podría causar la inutilidad parcial o total del conjunto. El satélite necesita energía eléctrica, disipar calor, corregir sus movimientos y mantenerse en equilibrio, ser capaz de regular su temperatura, ser resistente al medio ambiente en el que operará, y desde luego poder dar servicios de comunicación a la Tierra; los subsistemas más importantes se indican en la siguiente tabla.

SUBSISTEMA	FUNCIÓN
ANTENAS	Recibir y transmitir señales de radiofrecuencia.
COMUNICACIONES	Amplificar las señales y cambiar su frecuencia.
ENERGÍA ELÉCTRICA	Suministrar electricidad con los niveles adecuados de voltaje y corriente.
CONTROL TÉRMICO	Regular la temperatura del conjunto
POSICIÓN Y ORIENTACIÓN	Determinar la posición y orientación del satélite.
PROPULSIÓN	Proporcionar incrementos de velocidad y pares para corregir la posición y orientación.
RASTREO, TELEMETRÍA Y COMANDO	Intercambiar información con el centro de control en Tierra para conservar el buen funcionamiento del satélite.
ESTRUCTURAL	Alojar todos los equipos y darle rigidez al conjunto.

Cuadro comparativo entre los satelites Morelos y Solidaridad

MORELOS HS-376	MODELO	SOLIDARIDAD HS-601
POR GIRO	ESTABILIDAD	TRIAxIAL
666 kg.	PESO TOTAL	2772 kg.
521 kg.	PESO SECO	1282.6 kg.
145 kg.	COMBUSTIBLE	1489.4 kg.
777 W	POTENCIA	3370 W
9 años	VIDA ÚTIL	14 años
2.16 m DIÁMETRO 6.60 m LONGITUD	DIMENSIONES	7.2 m ANTENA - ANTENA 21.0 m CON PANELES DESPLEGADOS

## Características principales de los Satélites Solidaridad

	BANDAS		
	C	Ku	L
<b>FRECUENCIA DE SUBIDA (MHz)</b>	5925.0 - 6425.0	14000.0 - 14500.0	1626.5-1660.5
<b>FRECUENCIA DE BAJADA (MHz)</b>	3700.0 - 4200.0	11700.0 - 12200.0	1525.0-1559.0
<b>No. DE TRANSPONEDORES</b>	12 ANGOSTOS 6 ANCHOS	16	1
<b>ANCHO DE BANDA (MHz)</b>	ANGOSTOS 36 ANCHOS 72	54	20 SOL-I 17 SOL-II
<b>GUARDA ENTRE TRANSPONEDORES (MHz)</b>	ANGOSTOS 4 ANCHOS 8	7	—
<b>POTENCIA DE SALIDA DE LOS AMPLIFICADORES (w)</b>	ANGOSTOS 16 DE 10 A 16, ANCHOS 8 DE 14.4 (SSPA's)	20 DE 45 (TWTA's)	6 DE 24 (SSPA's)
<b>CONTROL DE GANANCIA ATT (dB)</b>	0 - 14 EN PASOS DE 2	0 - 22 EN PASOS DE 2	—

**Banda C**

Tiene un total de 12 transpondedores de 36 MHz y 6 de 72 MHz operando en polarización vertical y horizontal respectivamente.

**Banda Ku**

Ha sido completamente rediseñada, con mayor capacidad de ancho de banda, con respecto a los satélites Morelos. Los satélites Solidaridad tienen un total de 16 transpondedores de 54 MHz, con lo que es posible la doble utilización de frecuencias, operando en polarización vertical/horizontal y horizontal/vertical. Este nuevo diseño permite hacer un uso mas eficiente del recurso ancho de banda/potencia.

**Banda L**

Los satélites Morelos no contaban con este recurso, esta banda es utilizada para las comunicaciones móviles por satélite, los satélites solidaridad utilizaran polarización circular derecha. El rango de operación es de 1525-1559 MHz para el enlace Espacio-Tierra (enlace de ida) y de 1626.5-1660.5 para el enlace Tierra-Espacio (enlace de regreso).

**Patrones de cobertura para los Satélites Solidaridad**

<b>REGIÓN</b>	<b>BANDA QUE OPERA</b>	<b>PIRE</b>	<b>COBERTURA</b>
R1	C	36 MHz - 37.5 dBw 72 MHz - 40.5 dBw	Territorio Mexicano. Sur de E.U.A. Guatemala, Parte de Belice, El Salvador y Honduras.
R2	C	37.0 dBw	Territorio Mexicano. Sur de E.U.A. Centroamérica, Cuba y el Caribe. Colombia y Venezuela.
R3	C	37.0 dBw	Parte de Sudamérica: Ecuador, Bolivia, Paraguay, Uruguay, Chile, Argentina, Oeste de Brasil, Sur de Colombia
R4	Ku	47.0 dBw	Territorio Mexicano. Sur de E.U.A. Guatemala y Belice.
R5	Ku	46.5 dBw	Toronto, Canada, La Habana, Cuba. Las ciudades mas importantes de E.U.A.
R6	L	45 dBw	México y su mar patrimonial Zonas fronterizas de México

#### 4.3 Características de la banda C.

El rango de frecuencias de la banda C es de 5.925 a 6.425 GHz para el enlace ascendente y de 3.7 a 4.2 GHz para el descendente.

Esta banda esta compuesta por 12 transpondedores angostos (N) de 36 MHz y 6 anchos (W) de 72 MHz. Todos los transpondedores N han sido diseñados para recibir de la región R1 con polarización Horizontal y transmitir hacia la región R1 con polarización Vertical; además esta banda cuenta con selección de haces para las regiones R2 y R3.

La selección del haz ascendente a través de los transpondedores 5N al 12n puede ser individual e independiente para recibir de R1, R2 o R3, los transpondedores 5N, 7N, 9N, y 11N pueden ser individual e independientemente conmutados para transmitir hacia R1 o R3 mientras que los transpondedores 6N, 8N, 10N y 12N cubren las regiones R2+R3 de la siguiente manera:

5N, 7N, 9N, y 11N Tx R2 y R3  
Rx R3

6N, 8N, 10N y 12N Tx R2 y R3  
Rx R2

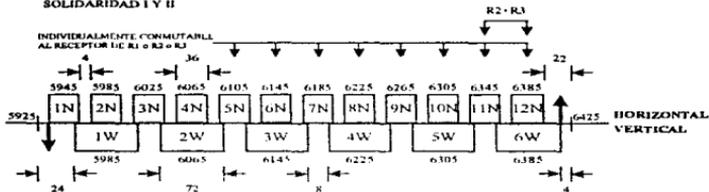
Los transpondedores W estan diseñados para recibir únicamente desde R1 con polarización vertical y transmitir únicamente con polarización Horizontal.

En la figura 4.2 (de la página siguiente) se ilustra el plan de frecuencias para la banda C en los satélites Solidaridad.

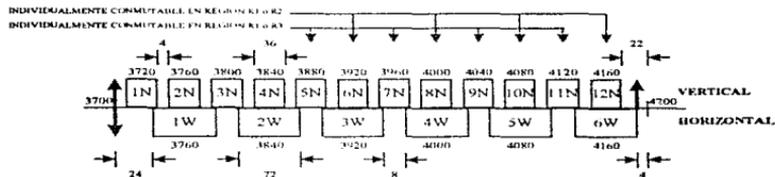
## Plan de frecuencias en banda C

**SUBIDA 5.925 - 6.425 GHz**

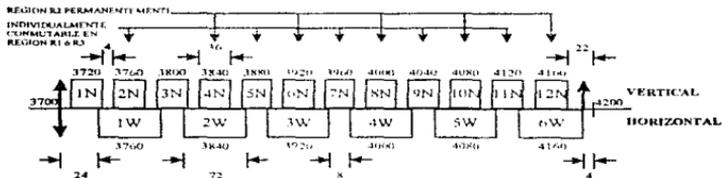
SOLIDARIDAD I V II

**BAJADA 3.7 - 4.2 GHz**

SOLIDARIDAD I

**BAJADA 3.7 - 4.2 GHz**

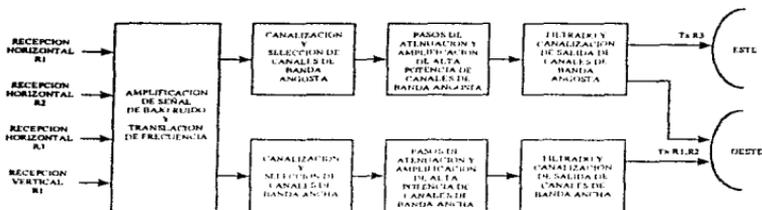
SOLIDARIDAD II



[figura 4.2 : plan de frecuencias en banda C para los satélites SOLIDARIDAD]

ESTA TIENE SU ORO  
SALIR DE LA MOLINERÍA

Diagrama de bloques del repetidor en banda C



[figura 4.3 : diagrama de bloques del repetidor en banda C]

#### 4.4 Características de la banda Ku.

El rango de frecuencias en banda Ku es de 14.0 a 14.5 GHz para el enlace ascendente y de 11.7 a 12.2 GHz para el descendente

Esta banda ha sido totalmente rediseñada, teniendo un total de 16 transpondedores de 54 MHz, ocho de los cuales reciben en polarización vertical y los ocho restantes reciben en polarización horizontal.

Todos los transpondedores tienen la capacidad de recibir y transmitir en la región R4 (ver tabla de regiones de cobertura).

En relación a las dos áreas de cobertura para la banda Ku, R4 y R5, hay cuatro posibles vías de transmisión por lo cual se puede configurar un transpondedor de banda Ku como sigue:

VIA DE ACCESO	DE REGION	HACIA REGION
A	R4	R4
B	R4	R5
C	R5	R4
D	R5	R5

Cabe mencionar que el transpondedor 6K puede realizar las siguientes conmutaciones:

- En forma unidireccional

Tx: R4

Rx: R5

Tx: R5

Rx: R4

- En forma bidireccional

Tx: R4

Rx: R4

Tx: R5

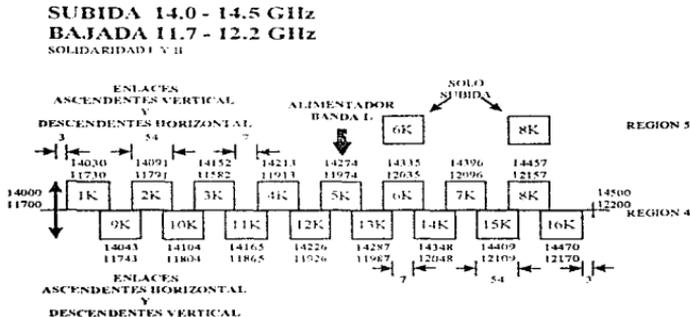
Rx: R5

El transpondedor 8K solo puede transmitir de R5 hacia R4.

Este diseño permite que el transpondedor 6K sea operado en las vías A, B, C y D, y que el 8K solo pueda operar en las vías A y C.

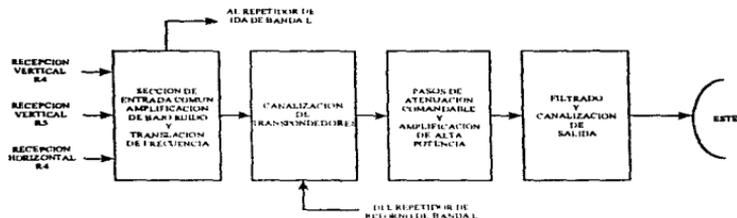
Los transpondedores 5K, 6K y 9K cuentan con linealizador que mejora el desempeño de los canales con multiportadoras.

Plan de frecuencias en banda Ku



[figura 4 4 : plan de frecuencias en banda Ku para los satélites SOLIDARIDAD]

## Diagrama de bloques del repetidor en banda Ku



[figura 4.5 : diagrama de bloques del repetidor en banda Ku]

### 4.5 Características de la banda L.

El rango de frecuencias en banda L, asignada para los servicios móviles, es de 1525.0 a 1559.0 para el enlace descendente (enlace de ida) y de 1626.5 a 1660.5 para el ascendente (enlace de regreso).

El subsistema de comunicaciones en banda L incorpora la tecnología más reciente en banda Ku y banda L para maximizar su funcionamiento, eficiencia y sobre todo la confiabilidad del sistema. Dicho subsistema consiste de dos transpondedores separados, uno en banda Ku/L y otro en banda L/Ku, compartiendo una antena común transmisora/receptora en banda L.

#### 4.5.1 Funcionamiento

El transpondedor ascendente recibe señales de una estación terrestre en banda Ku y transmite a usuarios móviles en tierra, mar y aire en banda L, utilizando un arreglo de 26 antenas dipolo tipo copa. El transpondedor descendente recibe, mediante el arreglo de dipolos, señales en banda L de los usuarios móviles y regresa estas señales a las estaciones en terrestres en banda Ku.

La banda L para el servicio de comunicación móvil se divide en cuatro sub-bandas en el Solidaridad I y tres en el Solidaridad II, independientemente controlables con un rango de banda ancha de 2.5 a 8 MHz. Estas sub-bandas son contiguas a la banda Ku dentro del transpondedor 5, permitiendo el uso del ancho de banda remanente de un canal de 27 MHz de la banda Ku.

#### 4.5.2 Características generales de la antena de banda L en el satélite.

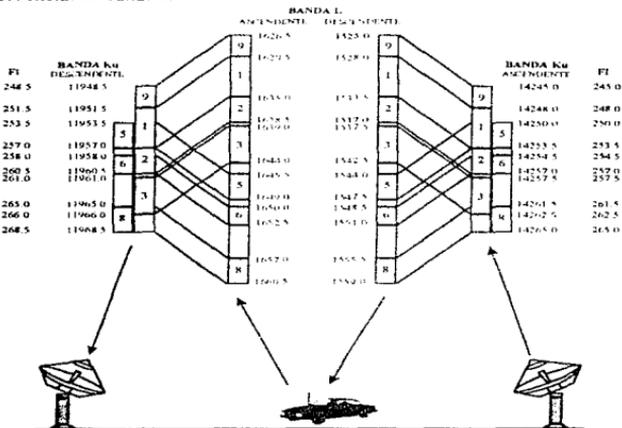
El subsistema de antena para la banda L consta de:

- Un arreglo de 26 elementos radiales.
- Copas parabólicas que utilizan dipolos como elementos radiadores.
- Distribución de potencia en el arreglo implementando cuatro redes de distribución, una por cuadrante.

Los cuadrantes diagonalmente opuestos están bloqueados en potencia, minimizando el impacto en caso de falla de SSPA's.

Todos los elementos se encuentran montados en un plano de material llamado panel de abeja de aluminio, el cual consta de nueve puntos de soporte y sujeción al módulo de carga útil.

Plan de frecuencias en banda L



[figura 4.6 : plan de frecuencias en banda L para los satélites SOLIDARIDAD]

## 5.- Centro de control del sistema.

En este capítulo se hablará de las características y funcionalidad de los elementos que conforman el centro de control del sistema

El centro de control del sistema es uno de los elementos más importantes (tal vez el más importante) de la red, ya que en él se encuentran ubicados los equipos que administran la totalidad de los recursos

El centro de control del sistema (MCCC) se puede dividir en tres subsistemas principales:

- La Estación de Administración del Sistema (NMS)
- La Estación Terrena de Interconexión (GW), que también puede estar ubicada remotamente
- El sistema con equipamiento para RF/FI

### 5.1 Estación de Administración del Sistema (NMS).

La Estación de Administración del Sistema (Network Manager Station, NMS) es responsable de la asignación de canales de circuitos conmutados para la comunicación de voz/FAX/datos, y de la transferencia de mensajes del usuario. El NMS es también responsable del control de la configuración del sistema y del ajuste de la distribución de los recursos del sistema para dar servicio a las variaciones de la carga de tráfico presentada por los usuarios.

El NMS es el máximo controlador del sistema y provee también varias funciones para el monitoreo del sistema. El NMS interactúa con todas las estaciones base (BS), estaciones terrenas de interconexión remota (GW) y con todas las terminales móviles (MT). El NMS también interactúa con los centros de despacho de mensajes del cliente (DC) a través de la unidad interfaz de mensajes (MIU).

Todas las aplicaciones del usuario en el sistema involucran una acción desde el NMS, ya sea para disponer un canal o para enviar un mensaje desde una BS/GW hacia una MT o viceversa. EL NMS es el almacenador central de la información del sistema, manteniendo una base de datos de la configuración y de las interfaces necesarias para permitir al operador el monitoreo y control del sistema. El NMS también genera un historial de las llamadas para efecto de costos y estadísticas de uso del sistema para propósitos de planeación de tráfico.

El NMS comprende los siguientes subsistemas:

(1) EL sistema de cómputo del NMS (NMSC).

Esta computadora es el cerebro central del sistema de comunicación móvil. Dicha computadora consiste de un servidor SUN SPARC y se conecta al *bus ethernet* principal del sistema (MNE) para tener acceso a todos los dispositivos necesarios.

Puede haber más de un NMSC conectado al sistema, pero solo uno tiene el control de cualquier partición. Este es llamado el NMSC Primario (PNMSC) y soporta toda la carga de administración del sistema.

El PNMSC está respaldado por otras computadoras del mismo tipo. Una de estas computadoras puede estar sincronizada con el PNMSC y es llamada el NMSC Secundario (SNMSC) y puede entrar de manera automática en operación en caso de falla del PNMSC, prácticamente sin retardo alguno y con pérdida mínima de servicio.

Si por alguna razón no se cuenta con el SNMSC o bien este ha fallado, se puede hacer uso de otra unidad llamada NMSC Terciario (TNMSC). Esta unidad se tiene que conectar de manera manual y esto puede consumir algún tiempo antes de que adquiera control del sistema.

(2) El equipo de comunicaciones satelitales MODEM/FI, también conocido como GRUPO TDM.

El GRUPO TDM se usa para mantener un enlace de comunicación digital con las terminales móviles, para efecto de control de llamadas y mensajes.

Un GRUPO TDM equipado completamente consta de lo siguiente

- **2 Mobile Terminal Front End Processor (MTFEP)**. Un MTFEP es una computadora SPARC VME la cual es conectada al *bus ethernet* principal (MNE), a través del cual tiene acceso directo al NMSC. La configuración tiene un MTFEP activo y otro de respaldo.
- **2 OUTBOUND MODULATOR (OBMOD)**, moduladores de la señal de salida) El OBMOD manda un tren continuo de datos a 9600 ó 4800 bps en banda Ku hacia el satélite, usando TDM (*Time Division Multiplexed*). Esta señal es monitoreada por todas las terminales móviles que tengan sintonizado el canal OBDEM en banda L. El satélite hace la conversión de banda Ku a banda L. La configuración tiene un OBMOD activo y otro de respaldo.
- **2 OUTBOUND DEMODULATOR (OBDEM)**, demoduladores de la señal de salida) El OBDEM monitorea la señal en banda L que manda de regreso el satélite, para

asegurar que el Grupo TDM y el satélite se encuentren operando correctamente. La configuración tiene un OBDEM activo y otro de respaldo.

- **36 INBOUND DEMODULATOR (IBDEM)**, demoduladores de la señal de entrada). El IBDEM se usa para atender las señales digitales que son transmitidas desde las terminales móviles. Los primeros 8 de estos canales son designados como **canales de respuesta**, los cuales son usados por las terminales móviles para responder a alguna señal o comando del NMSC. Un total de hasta 24 IBDEM son designados como **canales de acceso aleatorio**, los cuales son usados por las terminales móviles para iniciar llamadas. Los 4 canales restantes son designados como **respaldo** y **entran en operación** de manera automática para sustituir a alguno de los canales activos en caso de falla. Estos canales trabajan bajo el esquema TDMA (*Time Division Multiple Access*).
- **1 OUTBOUND MODULATOR SWITCHOVER (OBMOD SWO)**, controlador de conmutación del OBMOD). El SWO es el conmutador físico que conecta uno de los OBMOD con el equipo de RF en banda Ku. En caso de falla del equipo activo, el SWO realiza la conmutación automática hacia el equipo de respaldo.

### (3) La interface operador/sistema (MMI)

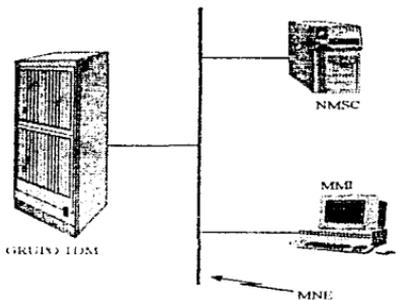
La MMI (Man Machine Interface) es el equipo de cómputo usado por los operadores para controlar al Sistema de Comunicación Móvil Via Satélite en todos sus niveles. Esta unidad es parte fundamental del NMS y ofrece una operación relativamente sencilla a través de pantallas con ambiente gráfico y menús con comandos y opciones variadas.

### (4) La ethernet principal del sistema de comunicaciones móviles (MNE).

En la figura 5.1 se ilustra la configuración del NMS.

#### 5.1.1 Funcionalidad del NMS

El NMS es la fuente de los canales TDM de salida (*OUTBOUND* TDM) hacia las terminales móviles. Para mantener flexibilidad en el sistema, las terminales móviles son programadas con una información mínima de la configuración del sistema. Las terminales móviles tienen las frecuencias primarias de TDM y, a partir de la tabla de boletines difundida en esos canales TDM, las terminales móviles pueden obtener las frecuencias TDM adicionales, las frecuencias de los canales de señalización de entrada (*INBOUND*) y alguna otra información que sea necesaria para iniciar la comunicación con el NMS.



[figura 5.1 : configuración del NMS]

Como información adicional a la configuración del sistema, el outbound TDM también provee una frecuencia de referencia para las terminales móviles. Es NMS desplaza su frecuencia de subida en banda Ku para compensar el error en frecuencia que hay en la conversión de banda Ku a banda L en el satélite. Las terminales móviles se sintonizan a la portadora de *outbound* TDM y usan esto para corregir su referencia interna.

#### 5.1.2 Monitoreo del sistema.

El NMS mantiene actualizado el estado de todas las terminales móviles, estaciones terrenas de interconexión y centros de despacho en el sistema. El NMS mantiene contacto cerrado con las estaciones terrenas de interconexión, llamando a cada estación de forma periódica a través de los enlaces de señalización. Cada estación responde con un reporte del estado dando una revisión del estado operacional de la estación. Adicionalmente a los reportes periódicos, las estaciones mandan mensajes no solicitados del estado si se detecta que ha ocurrido una condición de falla mayor. El NMS presenta una alarma al operador del sistema en caso de que ocurra dicha falla. El operador puede revisar el estado general de las estaciones a través de una serie de pantallas disponibles en el NMS.

### 5.1.3 Control del sistema.

El NMS controla toda la información de entrada proveniente de estaciones móviles, centros de despacho y estaciones terrenas de interconexión. Cualquier tipo de estación tiene que pasar a través de un procedimiento de comunicación antes de que se les permita entrar y enviar tráfico en el sistema. Los controles disponibles desde el NMS se extienden hacia cualquier parte del sistema. El operador del sistema está posibilitado para asignar recursos tales como los canales de señalización del outbound TDM y el inbound TDMA, habilitar o deshabilitar individualmente estaciones terrenas de interconexión, modificar parámetros usados por las terminales móviles, centros de despacho, estaciones terrenas de interconexión, puede también desconectar una llamada o todas las llamadas y puede también comandar esquemas de pruebas en todas las estaciones remotas.

### 5.1.4 DAMA para los servicios de telefonía

El NMS es responsable de el establecimiento de todos los servicios de llamadas de sistemas telefónicos públicos y privados. El NMS recibe requerimiento de acceso para conexión desde las terminales móviles y de las estaciones terrenas de interconexión. El NMS decide si hay suficientes canales y potencia disponible en el satélite para soportar llamadas.

Cuando el sistema soporta varias estaciones terrenas de interconexión, el NMS enruta las llamadas de las terminales móviles hacia servicios de PSTN a través de la estación terrena de interconexión óptima. En caso de que la llamada sea hacia una terminal remota, el NMS consulta con la terminal móvil destino para confirmar disponibilidad. Entonces el NMS selecciona los canales satelitales que serán usados y ordena a las estaciones levantar la conexión.

La información DAMA intercambiada con las terminales móviles tiene lugar sobre los canales de señalización. El requerimiento de llamada y la asignación del canal se comunican entre el NMS y las estaciones terrenas de interconexión tiene lugar sobre un grupo de enlaces de señalización. La finalización de la llamada y la liberación de la terminal móvil es llevada a cabo a través del canal de voz.

### 5.1.5 Enrutamiento de mensajes.

El servicio de mensajería de los usuarios del sistema soporta la transferencia de mensajes en paquetes sencillos y cortos entre los centros de despacho y las terminales móviles. Los mensajes de salida, del centro de despacho hacia la terminal móvil, recibidos desde los centros de despacho a través de el MIU, son enviados sobre los canales de outbound TDM hacia las

terminales móviles. El servicio de mensajería también soporta mensajes entre terminales móviles.

#### 5.1.6 Generación de historial.

Una tarea auxiliar del NMS es la de reunir y registrar algún tipo de información específica en su monitor. El NMS registra los cambios de estado de los datos mas importantes de las estaciones en un registro de eventos. Resúmenes del uso de recursos basados en el procesamiento de DAMA y el enrutamiento de mensajes, son registrados periodicamente en una base de datos de la carga del sistema.

El operador tiene acceso a esa base de datos con la conveniencia de contar con utilerías de búsqueda para extraer información para detectar fallas en el NMS y/o en el sistema y para hacer análisis que sirva para planear el tráfico en el sistema.

Los registros de llamadas para los servicios de telefonía públicos y privados son generados en el NMS. Estos registros contienen las direcciones del origen, direcciones del destino, tipo de servicios, naturaleza del servicio, calidad del servicio, prioridad de acceso, duración de la llamada y una indicación si la llamada fue terminada de manera anormal.

#### 5.1.7 Determinación del estado de operación del NMS y configuración de redundancia.

Es de principal importancia el mantener una alta disponibilidad del NMS para una calidad alta en los servicios del sistema de comunicaciones móviles. El NMS cuenta con sistemas redundantes para el equipo de RF, MODEMS y NMSCs.

La conmutación hacia los equipos redundantes de RF tiene lugar de forma automática cuando falla el equipo que se encuentra trabajando en línea. Esta conmutación es controlada por circuitos lógicos locales sin la intervención del NMSC.

#### 5.1.8 Modems TDM/TDMA para señalización

El modulador TDM de *outbound* es usado para transmitir unidades de señalización (SU) de 12 bytes hacia las terminales móviles. Las SU de *outbound* serán generadas por el procesador terminal (FEP) de las terminales móviles del sistema de computo del NMS y transferido hacia el modulador a través de una línea serial de transmisión. El modulador las procesa y las formatea dentro de tramas al añadir palabras únicas antes de la modulación de FI.

El demodulador de TDMA de *inbound* recibe las ráfagas de señales transmitidas desde las terminales móviles. Este procesa las señales demoduladas y extrae las SU, las cuales son enviadas hacia el FEP a través de una línea serial de transmisión, como se muestra en la siguiente figura.

Los comandos de control y la información del monitoreo del estado de los moduladores y de los demoduladores también es intercambiada a través de una línea serial de transmisión hacia y desde el FEP.

### 5.2 Estación Terrena de Interconexión (GW).

La Estación Terrena de interconexión (*Gateway Station, GW*) es la encargada de proveer acceso al usuario hacia una red pública de voz y/o datos o hacia una red privada. Este tipo de estaciones pueden estar instaladas en el mismo sitio donde se encuentra el Centro de Control del Sistema o también en un sitio remoto. En el capítulo 6 se hablará exclusivamente de este tipo de estaciones.

### 5.3 Sistema con equipamiento para RF/FI.

El subsistema de RF/FI es responsable de la transloción en frecuencia, AFC, control del nivel y la transmisión/recepción de las señales de radiofrecuencia. Este consiste del subsistema de RF/FI para banda Ku, el subsistema de RF/FI para banda L, el subsistema de la portadora piloto, el subsistema de AFC y el subsistema de interfase para FI. El subsistema de banda Ku es configurado como completamente redundante, ya que este lleva no solamente las portadoras de señalización sino también las portadoras de comunicación hacia y desde las estaciones terrenas de interconexión. El subsistema de banda L es configurado como completamente redundante porque éste transporta las señales piloto y de prueba para el NMS.

Debido a la naturaleza de las portadoras de comunicaciones estas deben de ser de banda angosta y debido también a necesidad de manejar miles de estas frecuencias multiplexadas en frecuencia, es necesario contar con las siguientes características en el subsistema RF/FI:

- (a) Precisión y estabilidad muy alta en frecuencia
- (b) Ruido de fase muy bajo
- (c) Nivel de saturación muy alto

- (d) Nivel bajo de espurias.
- (e) Sistema preciso de AFC.

Dado que es requerida una precisión y estabilidad muy alta en frecuencia, del orden de 10-10 (algunos Hz en banda Ku), es necesario contar con un oscilador muy estable y con referencia estacionaria de 5Mz para bajo ruido de fase, las salidas de este oscilador son distribuidas hacia cada equipo de RF/FI como frecuencia de referencia. Dado que las frecuencias centrales para las bandas Ku y L no son múltiplos enteros de la frecuencia de referencia, son usados osciladores locales sintetizados para los convertidores de subida y de bajada para las bandas Ku y L.

Se requiere que cada equipo de RF/FI tenga un desempeño con bajo ruido de fase para minimizar la degradación efectiva de C/N debido al ruido de fase dentro de un valor tolerable.

#### 5.3.1 Descripción de los subsistemas RF/FI

El subsistema RF/FI es el responsable de:

- Translación de frecuencia.
- AFC
- Control del nivel
- Transmisión y recepción de señales de radiofrecuencia, lo cual consiste de lo siguiente:
  - Subsistema RF/FI para banda Ku.
  - Subsistema RF/FI para banda L.
  - Subsistema AFC y señal piloto.
  - Subsistema de interfaz FI

El subsistema para banda Ku es configurado con redundancia completa. Este se encarga de transmitir señales tanto de comunicación como de control. El subsistema de banda L es configurado con redundancia completa porque transporta a la piloto y señales de prueba para el centro de control del sistema.

A continuación se describirán los subsistemas en banda Ku y banda L, así como su equipo asociado.

##### 5.3.1.1 Subsistema para banda Ku

Cada subsistema para banda Ku tiene equipo con redundancia completa tanto en la trayectoria de transmisión como en la de recepción con conmutación automática a los equipos de respaldo. Las señales de transmisión y recepción en banda Ku tienen acceso a la antena a través de las unidades combinadoras/divisoras comunes. El ancho de haz de la antena permite solo operación satelital sencilla para cada subsistema en banda Ku.

El subsistema de RF/FI para banda Ku consta de los principales elementos siguientes.

a) Trayectoria de transmisión.

- Combinadores de FI 20:1
- Acopladores direccionales para generadores de pruebas en FI.
- Híbridas.
- Amplificadores en FI
- Convertidores ascendentes 70MHz/14GHz.
- Osciladores piloto
- Convertidores ascendentes para la piloto.
- Conmutadores ON/OFF para la piloto en 2GHz.
- Amplificadores de RF en 14GHz.
- Conmutadores de RF en 14GHz.
- Unidades AFC de OUTBOUND.

b) Trayectoria de recepción.

- LNA en 12GHz.
- Híbridas de RF.
- Amplificadores de RF.
- Convertidores descendentes 12GHz/70MHz.
- Amplificadores en FI.
- Conmutadores en FI
- Unidades AFC de INBOUND
- Acopladores direccionales para generadores de pruebas en FI.
- Divisores de FI 20:1

Cabe mencionar que la antena para banda Ku es común para las dos trayectorias. En la figura 5.2 se muestra el diagrama de bloques del subsistema de RF/FI para banda Ku y enseguida se hará una descripción del equipamiento para banda Ku.

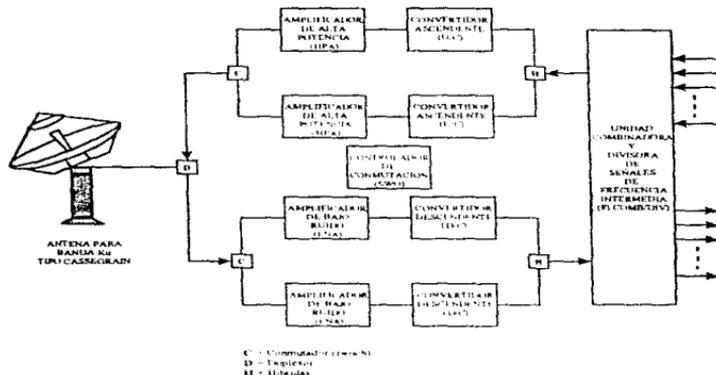
■ Antena para banda Ku

Esta antena mide 7.6m y esta diseñada para operar tanto en modo de transmisión como recepción para aplicación de banda Ku. La antena considerada es de configuración Cassegrain y usa un diseño de reflector y una corneta de alimentación de forma cónica y corrugada para optimizar la relación señal a ruido en la recepción y el desempeño en los lóbulos laterales.

La antena es del tipo de movimiento en elevación - azimuth. El movimiento en los ejes de azimuth y elevación es posible con un mecanismo de motores de AC y un tornillo. La antena también tiene la opción de un mecanismo manual de movimiento. Un mecanismo electrónico para el control del movimiento es una característica común en estas antenas.

La estructura de la antena se divide en cuatro secciones: reflector principal, estructura de soporte, estructura de montaje y mecanismos de movimiento.

Para facilitar la transportación de la antena, el reflector principal es dividido en varios paneles. Cada panel esta hecho de placas de aluminio, la curvatura adecuada la obtienen usando el método Androforming y se refuerza su rigidez con unos marcos.



[figura 5.2 : diagrama de bloques del subsistema de RF/FI para banda Ku]

Es generalmente aceptado que el método Androforming es uno de los mejores para producir con mucha precisión los paneles del reflector a partir de materiales tan rígidos como la aleación de supervivencia por vientos o cuando una persona, usando calzado de suela suave, camina sobre el reflector (soporta 140 kg por pie aproximadamente)

Los paneles del reflector son montados en los soportes radiales y se sujetan con unos tornillos de ajuste. Los paneles no sufren deformación permanente cuando son sometidos a carga de supervivencia por vientos o cuando una persona, usando calzado de suela suave, camina sobre el reflector (soporta 140 kg por pie aproximadamente)

La estructura de soporte está compuesta de un nodo central el cual está situado en la parte posterior del reflector principal. Los soportes radiales se instalan alrededor del nodo central.

El nodo central es una estructura cilíndrica de acero dentro de la cual se instala el LNA y el alimentador. La mayor parte de los soportes radiales son fabricados de tubos de acero. El nodo central y los soportes radiales están fabricados para mantener la superficie del reflector lo más estable posible en cualquier condición de operación. Cabe mencionar que los soportes radiales son diseñados para que puedan ser divididos en partes de tamaño adecuado para su transportación, ensamblado y desmantelado. La manera como se sujetan es por medio de tuercas de alta resistencia mecánica.

La estructura de soporte es pre-ensamblada y alineada en la planta para medir la ubicación de las bases de montaje de los paneles del reflector. Es relativamente fácil re-ensamblar y alinear la estructura en el sitio de instalación.

La estructura de montaje, la cual es un simple marco de acero, se fija sobre una simple base de concreto por medio de anclas de tamaño adecuado. La estructura de montaje es lo suficientemente rígida como para permitir que la antena permanezca erguida al ser sometida a carga por vientos de más de 50m/s con el reflector posicionado en cualquier ángulo de operación.

Los mecanismos de movimiento son instalados en cada eje. Estos sistemas incluyen tornillos "sin fin", motores eléctricos y sistemas manuales. El mecanismo eléctrico de movimiento es capaz de mover la antena a velocidades hasta de 0.02 grados por segundo. Dos engranes de activación por manivela son provistos para el posicionamiento manual de la antena, uno para movimiento en elevación y el otro en azimuth. Son provistos también interruptores de seguridad para evitar que el mecanismo eléctrico de movimiento sea activado durante la operación manual.

El material básico usado para la estructura de soporte y para la de montaje es acero al carbón, este material cumple con el estándar ASTM o equivalente. Los paneles del reflector principal están hechos de una aleación de aluminio, la cual tiene una alta resistencia a la corrosión. Las uniones de la estructura principal utilizan tuercas y tornillos galvanizados de alta resistencia, los cuales cumplen con el estándar ASTM A-325 o equivalente.

El sistema alimentador de la antena consiste de un subreflector, una corneta cónica corrugada y un transductor ortomodal. La geometría de las antenas Cassegrain ubica al subreflector en el foco del reflector principal. Los perfiles tanto del subreflector como del reflector principal se diseñan para obtener el mejor desempeño en cuanto a lóbulos laterales se refiere y también para obtener la óptima ganancia y relación G/T.

Como radiador principal es usado una corneta cónica corrugada basada en el principio de modo híbrido. Este radia un haz simétrico axialmente con lóbulos laterales bajos, lo cual contribuye al desempeño con alta eficiencia y baja temperatura de ruido de la antena como sistema completo. Para prevenir el ingreso de polvo o lluvia, la apertura es cubierta con una tapa hecha de fibra de vidrio reforzada con una película de Teflon. Esta tapa permite un tener aire seco presurizado bajo una presión mínima de 30 kg/cm<sup>2</sup>.

El transductor ortomodal (OMT) acepta tanto señales de recepción como de transmisión (las cuales están ortogonalmente polarizadas). La señal de recepción la pasa hacia el LNA y la de transmisión la recibe de una guía de onda. Para minimizar la interferencia del transmisor hacia el receptor, se integra un filtro en el transductor ortomodal.

Especificaciones de la antena para banda Ku.

Diámetro:	7.6 m
Rango de frecuencias de operación:	
Transmisión	14.0 a 14.5 GHz
Recepción	11.7 a 12.2 GHz
Ganancia (dBi, $\pm 0.3$ dB):	
Transmitiendo a 14.25 GHz:	59.2 dBi
Recibiendo a 11.95 GHz:	57.8 dBi
Temperatura de ruido (K, $\pm 5$ K):	
A 10° de elevación	68 K
A 20° de elevación	57 K
A 40° de elevación	51 K
Lóbulos laterales a la transmisión:	Cumple con la Rec. 580-2 CCIR
Polarización:	Ortogonal lineal
Aislamiento Tx/Rx:	
dB mínimo, sobre la banda de transmisión	85

#### ■ Amplificador de Alta Potencia (HPA) de 14GHz.

El amplificador contemplado para esta aplicación es NEC de 14GHz 3kW tipo Klystron. NEC tiene una amplia experiencia en el desarrollo y manufactura de Amplificadores de Potencia. El HPA Klystron de 3kW propuesto, está diseñado específicamente para transmitir dentro de la banda de frecuencias de 14.0 a 14.5 GHz.

El HPA Klystron de 3kW cuenta con circuitos de estado sólido en la fuente, de tal manera que el diseño en general asegura una alta confiabilidad, reduce costos por mantenimiento y garantiza un excelente desempeño.

#### Dimensiones y especificaciones

El peso y dimensiones del amplificador de poder se listan enseguida:

**Ancho :** 650mm.  
**Fondo :** 800mm.  
**Alto :** 1000mm.  
**Peso :** 600kg.

Algunas de las especificaciones del desempeño del IIPA de interés se listan enseguida:

**Rango de frecuencia de operación:** Cualquier rango de 72 MHz dentro de la banda  
 14 0-14.5 GHz  
**Ganancia nominal:** 80 dB a 2.5 kW  
**Rango de temperatura de operación:** De 10 a 35 °C (para operación con máxima estabilidad)  
**Estabilidad de la ganancia:**  $\pm 0.5$  dB ( dentro del rango de temperatura nominal)  
**Alimentación primaria:** Trifásica (50-60 Hz)  
 200-240 V  
 380-480 V  
 Variación de voltaje  $\pm 10\%$

■ **Amplificador FET (GaAs) de bajo ruido de 12 GHz LNA.**

Los amplificadores de bajo ruido FET (GaAs) de 12 GHz están diseñados específicamente para usarse en cualquier aplicación para estaciones satelitales terrenas.

NEC ha aplicado su extensa experiencia en el desarrollo de los amplificadores FET de GaAs con el propósito de cumplir con la actual y creciente demanda en todo el mundo de el uso de sistemas de comunicaciones satelitales

Las características técnicas de los LNA son descritas a continuación:

**Baja temperatura de ruido.**

El FET de GaAs usa circuitos de alta confiabilidad, lo cual provee el siguiente desempeño:

Modelo LA-1212	120K	a 25°C	11.7-12.2 GHz.
----------------	------	--------	----------------

**Alta confiabilidad**

Son aplicados circuitos de estado sólido modulares en todo el diseño del LNA con el propósito de asegurar una operación confiable. De esta manera se espera un Tiempo Esperado Entre Fallas (MTBF) de más de 500,000 horas. No se requiere mantenimiento preventivo periódico.

### Instalación Sencilla.

Cada unidad LNA está construida en un paquete compacto. Esto permite una instalación simple en cualquier tipo de antena de cualquier estación terrena.

### Configuración del subsistema.

Las unidades LNA pueden ser usadas tanto en configuraciones no redundantes como redundantes con el equipo asociado a ellas, tal como un panel de control de conmutación y unidades de alimentación. El diagrama de bloques funcional del sistema LNA es mostrado en la siguiente figura.

Con las configuraciones redundantes, un conmutador de baja pérdida de guía de onda (RSW-1/-2) y un conmutador de salida coaxial (RSC-1/-2) son provistos para conmutar entre el LNA de funcionamiento en línea y el de respaldo. Se provee un acoplador direccional como opción, en el puerto de prueba del conmutador de la guía de onda (RSW-1/-2).

La siguiente tabla muestra algunas especificaciones importantes en el desempeño del LNA bajo condiciones ambientales normales.

Rango de frecuencia:	De 10.95 a 12.75 GHz.
Ganancia:	55 dB mínimos para una unidad LNA. 53 dB mínimos para una configuración (1+1)/(2+1)
Temperatura de ruido a 25°C:	120 K

### ■ Convertidor Ascendente en banda Ku. (UP CONVERTER).

A continuación se describirá el convertidor ascendente en banda Ku, el cual convierte las señales de FI de 70MHz a señales de RF en la banda de 14 GHz.

Los convertidores ascendentes emplean amplificadores FET monolíticos de RF, un amplificador bipolar monolítico de FI, así como también como películas gruesas y delgadas que contienen Circuitos Integrados Híbridos de Microondas (MHICs). Esto ofrece un bajo consumo en potencia y alta confiabilidad.

### Características.

- Esquema de triple conversión, lo cual ofrece un sintetizador de frecuencia con bajo ruido de fase y pasos pequeños (desde 50 kHz).

- **Diseño compacto basado en amplificadores monolíticos. (Amplificadores FET GaAs de 3 GHz y bipolares de 1 GHz).**
- **Bajo consumo de potencia. (100W nominales).**
- **Pantalla sofisticada para monitoreo y control.**
- **Alta confiabilidad.**
- **Alto desempeño. (Bajo ruido de fase, bajo ruido por temperatura, baja emisión de espurias y una alta linealidad).**

#### Operación.

El convertidor ascendente de 70 MHz a 14 GHz traslada la señal de FI a la banda de RF de 14 GHz empleando una técnica de triple conversión de frecuencia.

La señal de 70 MHz es aplicada primero a un ecualizador de amplitud, el cual tiene por objetivo minimizar la distorsión en amplitud. La señal de FI es entonces amplificada por el amplificador de FI.

La señal amplificada es mezclada con la señal del primer oscilador local, el cual es controlado por una señal de referencia de 25 MHz que proviene de las unidades de AFC de salida. Lo anterior produce la segunda señal de FI de 800 MHz con AFC, la cual es amplificada y filtrada antes de ser mezclada con la segunda señal sintetizada del oscilador local de 2 GHz. La señal de 2 GHz producida a la salida de del segundo convertidor es filtrada y amplificada nuevamente. La señal piloto de 2 GHz es insertada antes de que sea mezclada y convertida a la señal de 14 GHz de salida en el tercer convertidor de frecuencia.

Enseguida se mencionarán algunas características del convertidor ascendente para banda Ku.

Rango de frecuencia de entrada:	70±10 MHz.
Nivel de entrada:	De -50 a -5 dBm (dependiendo de la aplicación)
Impedancia de entrada:	75Ω desbalanceada, conector BNC hembra.
Rango de frecuencia de salida:	De 14.0 a 14.5 GHz.
Nivel de salida:	De -52 a -7 dBm (dependiendo de la aplicación)
Impedancia de salida:	50Ω desbalanceada, conector SMA hembra.
Consumo de potencia:	100 W nominales
Rango de temperatura de operación:	De 0 a 45°C

- **Convertidor descendente en banda Ku. (DOWN CONVERTER).**

Esta sección describe al convertidor descendente de banda Ku, el cual convierte a la señal de RF de 12 GHz en una señal de FI de 70 MHz.

Los convertidores descendentes emplean amplificadores FET monolíticos de RF, un amplificador bipolar monolítico de FI, así como también como películas gruesas y delgadas que contienen Circuitos Integrados Híbridos de Microondas (MIHCs). Esto ofrece un bajo consumo en potencia y alta confiabilidad.

#### Características:

- Esquema de triple conversión, lo cual ofrece un sintetizador de frecuencia con bajo ruido de fase y pasos pequeños (desde 50 kHz)
- Diseño compacto basado en amplificadores monolíticos (Amplificadores FET GaAs de 3 GHz y bipolares de 1 GHz)
- Bajo consumo de potencia (100W nominales)
- Pantalla sofisticada para monitoreo y control.
- Alta confiabilidad.
- Alto desempeño. (Bajo ruido de fase, bajo ruido por temperatura, baja emisión de espurias y una alta linealidad)

#### Operación:

El convertidor descendente traslada la frecuencia de la banda de RF de 12 GHz a la banda de FI de 70 MHz empleando una técnica de triple conversión de frecuencia.

La señal de RF en la banda de 12 GHz se aplica primero a un filtro paso banda. La señal filtrada es entonces mezclada con la señal del primer oscilador local en el primer convertidor descendente. La primer señal descendientemente convertida es filtrada y amplificada nuevamente, después de esto es mezclada con la señal sintetizada de 1 GHz del oscilador local en el segundo convertidor descendente. La señal de 350 MHz es nuevamente convertida, a la señal de FI requerida de 70 MHz, por un VCXO de 420 MHz el cual es controlado por una señal de referencia de 25 MHz, la cual proviene de la unidad de AFC de entrada.

La señal de FI de 70 MHz es aplicada a un ecualizador de amplitud, es cual es provisto para minimizar la distorsión en amplitud del equipo. La señal en FI es finalmente amplificada por el amplificador de FI.

Rango de frecuencias de entrada	De 11.7 a 12.2 GHz
Nivel de entrada:	De -85 a -37 dBm (dependiendo de la aplicación)
Impedancia de entrada:	50Ω desbalanceada, conector SMA hembra.
Rango de frecuencia de salida:	70±10 MHz.
Nivel de salida:	De -37 a 0 dBm (dependiendo de la aplicación)
Impedancia de salida:	75Ω desbalanceada, conector BNC hembra.
Consumo de potencia:	100 W nominal.
Temperatura de operación:	De 0 a 45°C.

■ **Control de conmutación de redundancia para banda Ku (Ku band switchover).**

El controlador de conmutación de 14 GHz es usado para que entre en operación la redundancia de la cadena de banda Ku. El circuito lógico incluido en el controlador de conmutación de 14 GHz, monitorea de manera automática los estados de las alarmas de los amplificadores de RF/IF, los convertidores ascendentes (70 MHz/14 GHz), las señales piloto de los convertidores ascendentes y los generadores de las señales piloto.

El controlador de conmutación de 14 GHz selecciona su estado automáticamente de acuerdo con los estados de las alarmas del equipo mencionado en el párrafo anterior, cuando el modo auto/remoto está seleccionado.

De la misma manera que se puede conmutar de manera automática, el conmutación también puede ser controlada de forma manual desde el procesador remoto cuando el modo auto/remoto está seleccionado.

En el modo manual, el controlador de conmutación de 14 GHz puede ser puesto a funcionar tanto en el estado -1 ó en el estado -2, por medio del panel frontal de operación.

**Especificaciones del desempeño del controlador de conmutación de 14 GHz**

Rango de frecuencia de operación:	500 MHz (14.0 - 14.5 GHz)
Impedancia de Entrada/Salida:	50 ohms desbalanceada.
Pérdidas por inserción:	Menos de 4 dB sobre el ancho de banda de 500 MHz.
Interfaz:	Entrada: Tipo SMA, hembra.
	Salida: Tipo SMA, hembra

**5.3.1.2 Subsistema para banda L.**

Cada subsistema de banda L tiene redundancia completa con conmutación automática tanto en la trayectoria de transmisión como en la de recepción.

El subsistema de banda L transporta la señal piloto y las señales de prueba según los requerimientos del NMS.



■ Antena para banda L

Para el sistema propuesto se opta por una antena Andrew de 1.5m de diámetro para obtener el más alto nivel de desempeño operacional y confiabilidad. La antena comprende todos los factores necesarios para tener un mantenimiento fácil y una alta confiabilidad basada en la experiencia de Andrew en el diseño.

La antena de 1.5m para estación terrena incorpora las siguientes características más importantes.

- a) La antena es diseñada para operar continuamente y para mantener un desempeño nominal por un periodo de más de diez años.
- b) Altas eficiencias para las bandas de transmisión y recepción.
- c) Los mecanismos de ajuste burdo y fino en el soporte de la antena hacen que resulte fácil el apuntamiento hacia el satélite.
- d) La alta calidad en el pintado y el tratamiento de galvanizado aseguran una larga vida útil sin mantenimiento.

Tabla de especificaciones de la antena para banda L.

Tipo de antena:	Con foco desplazado ( <i>OFFSET</i> ).
Diámetro de la antena:	1.5m
Rango de frecuencias:	
Banda de transmisión:	De 1610.0 a 1660.5 MHz
Banda de recepción:	De 1545.0 a 1559.0 MHz
Ganancia:	
Para 1550.0 MHz:	24.5 dBi
Para 1650.0 MHz:	25.0 dBi
Polarización:	Circular.

■ Amplificador de potencia de estado sólido de 50W para banda L.

Este amplificador usa la tecnología recientemente desarrollada de FET de GaAs en la banda de frecuencia de 1,626.5 a 1,660.5 MHz

**Enseguida se listarán algunas especificaciones del desempeño del amplificador de potencia de estado sólido de 50W (SSPA 50W).**

<b>Rango de frecuencias de operación:</b>	<b>De 1625.5 a 1660.5 MHz</b>
<b>Potencia promedio de salida:</b>	<b>50W min.</b>
<b>Ganancia:</b>	<b>65 dB mínimo en la potencia de salida promedio.</b>
<b>Estabilidad de la ganancia:</b>	<b><math>\pm 0.25</math> dB/día máximo bajo condiciones estables.</b>
<b>Ajuste de nivel de RF:</b>	<b>Más de 20 dB de forma continua.</b>
<b>Consumo de potencia:</b>	<b>700 VA</b>
<b>Voltaje de alimentación:</b>	<b>230 V<sub>ac</sub> <math>\pm</math> 10%, monofásicos, 50 ó 60 Hz.</b>
<b>Temperatura de operación:</b>	<b>De 0 a 45°C.</b>

■ **Amplificador de bajo ruido para banda L (LNA para banda L).**

A continuación se hará mención de las principales características técnicas del LNA para banda L.

**a) Baja temperatura de ruido.**

El amplificador FET de GaAs proporciona una temperatura de ruido de 170K dentro de la banda de 1530 a 1559 MHz, referida de la entrada de la unidad de RF.

**b) Operación estable libre de mantenimiento.**

Se emplea circuitería modular de estado sólido en todo el diseño del LNA con el objeto de asegurar una operación confiable. No requiere ningún tipo de mantenimiento preventivo periódico.

**c) Instalación sencilla.**

Las dimensiones del subsistema ya instalado son: 660mm de ancho, 180mm de largo y 110mm de alto. Lo anterior permite una instalación sencilla en cualquier tipo de antena

**Descripción del sistema**

**a) Composición.**

Cada unidad LNA está compuesta de un amplificador FET de GaAs de dos etapas, seguido por varias etapas de amplificadores transistorizados.

**b) Interfaz.**

Todos los puntos de interfaz para conexiones con otros equipos, se listan a continuación:

Para señal de RF.

Entrada de señal (Punto 1 de interfaz).

La interfaz de entrada de RF al LNA está a la entrada de un aislador (tipo SMA, 50 ohms, conector hembra).

Salida de señal (Punto 2 de interfaz).

La interfaz de salida del LNA está a la salida de un aislador (tipo N, 50 ohms, conector hembra).

Salida de RF de prueba (Punto 3 de interfaz).

La terminal de salida de RF de prueba es de tipo SMA, 50 ohms.

#### Descripción del equipo

Unidad LNA para banda L.

La unidad LNA es un amplificador transistorizado de bajo ruido, que tiene una figura de ruido de menos de 2 dB y una ganancia de mas de 50 dB sobre el rango de frecuencia de 1530 a 1559 MHz. Para obtener dicha figura de ruido, se emplea un transistor de efecto de campo de Galio-Arsénico (FET Ga As).

#### Fuente de alimentación del LNA.

Esta unidad está compuesta por una fuente de alimentación de DC para la unidad de RF y para los circuitos de relevadores para las funciones de alarma. Esta unidad está ubicada dentro del panel de control.

#### Ambiente de operación

Humedad y temperatura del ambiente de operación.

Temperatura: -10 a 60 °C  
 Humedad: Hasta 98% a 50 °C

#### Orientación.

El sistema LNA es capaz de satisfacer completamente las especificaciones de desempeño en cualquier orientación de antena.



<b>Impedancia de entrada:</b>	<b>75 ohms desbalanceada, conector BNC hembra.</b>
<b>Rango de frecuencias de salida:</b>	<b>De 1626.5 a 1660.5 MHz</b>
<b>Nivel de salida:</b>	<b>De -7 a -26 dBm</b>
<b>Impedancia de salida:</b>	<b>50 ohms desbalanceada, conector N hembra.</b>
<b>Temperatura de operación:</b>	<b>De 0 a 45°C</b>

■ **Convertidor descendente para banda L (*DOWN CONVERTER*).**

A continuación se describirá al convertidor descendente para banda L, el cual convierte la señal de RF de 1.5GHz a señal de FI de 70MHz.

Los convertidores descendentes emplean amplificadores FET monolíticos de RF, un amplificador bipolar monolítico de FI, así como también como películas gruesas y delgadas que contienen Circuitos Integrados Híbridos de Microondas (MHCs) Esto ofrece un bajo consumo en potencia y alta confiabilidad.

**Características del convertidor descendente para banda L.**

- Conversión sencilla.
- Sintetizador de frecuencia con bajo ruido de fase.
- Diseño compacto con amplificadores monolíticos (FET GaAs)
- Bajo consumo de potencia.
- Sofisticada pantalla de monitoreo y control.
- Alta confiabilidad.
- Excelente desempeño (bajo ruido de fase, bajo ruido térmico, baja emisión de espurias, alta linealidad).

**Operación.**

El convertidor descendente para banda L traslada la señal de RF seleccionada de la banda de 1.5GHz a una frecuencia de FI de 70MHz, empleando una técnica de conversión descendente sencilla de frecuencia. La señal de RF en la banda de 1.5 GHz es aplicada a un filtro paso banda antes de ser mezclada con la señal sintetizada del oscilador local de 1.4GHz. La señal de FI de 70MHz resultante es filtrada y amplificada nuevamente.

La señal de FI de 70MHz es aplicada a un ecualizador de amplitud, el cual es provisto para minimizar la distorsión en amplitud del equipo. Después, la señal de FI es amplificada por el amplificador de FI.

**Enseguida se listarán algunas especificaciones del desempeño del convertidor descendente para banda L.**

<b>Rango de frecuencias de entrada:</b>	<b>De 1539.0 a 1559.0 MHz</b>
<b>Nivel de entrada:</b>	<b>De -60 a -85 dBm</b>
<b>Impedancia de entrada:</b>	<b>50 ohms desbalanceada, conector N hembra.</b>
<b>Rango de frecuencias de salida:</b>	<b>70 ± 10 MHz</b>
<b>Nivel de salida:</b>	<b>De -30 a 0 dBm</b>
<b>Impedancia de salida:</b>	<b>75 ohms desbalanceada, conector BNC hembra.</b>
<b>Temperatura de operación:</b>	<b>De 0 a 45°C</b>

#### 5.3.1.3 Subsistema de Frecuencia Intermedia (FI)

Dado que se requiere muy alta precisión y estabilidad en frecuencia (del orden de  $10E-10$ , lo cual son unos cuantos Hz en banda Ku), se provee un oscilador de referencia de 5MHz muy estable y con bajo ruido de fase. Sus salidas son distribuidas a cada equipo de FI/RF como una frecuencia de referencia.

Dado que las frecuencias centrales de RF para banda Ku y banda L no son un múltiplo entero de la frecuencia de referencia, son usados osciladores locales sintetizados para los convertidores ascendentes/descendentes en las bandas Ku y L.

Se requiere un desempeño de ruido de fase muy bajo para cada equipo de FI/RF, para minimizar el efecto en la relación C/N para la señal de comunicación de voz de 600bps QPSK.

El sistema de FI provee distribución de FI y facilidades de parcheo para las señales nominales de 70MHz dentro del NOCC y sus CIES asociados.

**La distribución es provista entre:**

- Subsistemas para banda Ku, grupos TDM y CIES.
- Subsistemas para banda L, grupos TDM y CIES.

El parcheo permite conexión entre:

- TMT y grupos TDM.
- TMT y subsistemas para banda L.
- TMT y subsistemas para banda Ku.

A continuación se describirá el subsistema de FI propuesto.

Este sistema consiste de controladores de conmutación de FI, amplificadores para FI, controladores de conmutación para señales en frecuencias de 2GHz, divisores y combinadores. La banda de 70MHz es usada como frecuencia intermedia con el propósito de mantener la consistencia en el subsistema de FI.

A continuación, se dará la descripción técnica de los componentes activos del sistema.

#### ■ Controlador de conmutación para FI

##### Operación

Dos tipos de controladores de conmutación para FI pueden usarse en este sistema. Uno es controlado automáticamente y el otro es controlado manualmente.

El controlador de conmutación para FI automáticamente controlado, incluye un circuito lógico automático y despliega el monitoreo de los estados de las alarmas del equipo bajo su control. Este controlador también tiene la opción de modo de control manual, en cuyo caso las funciones de control remoto y automático son deshabilitadas.

El controlador de conmutación para FI manualmente controlado, es usado para el interruptor de la piloto para banda L. Este controlador incluye circuitos de control y su estado puede ser controlado sólo manualmente.

Especificaciones del desempeño del controlador de conmutación para FI

- |                                     |                                   |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| ■ Rango de frecuencia de operación. | de 25Hz a 180MHz                  |
| ■ Impedancia de entrada/salida      | 75 ohms desbalanceado             |
| ■ Pérdidas por inserción            | menos de 0.5dB a 180MHz.          |
| ■ Interfaz                          | Entrada conector tipo BNC, hembra |
|                                     | Salida conector tipo BNC, hembra. |

#### ■ Amplificador de FI

Los amplificadores de FI en el sistema propuesto, compensan las pérdidas por inserción en la etapa de FI. Estos amplificadores constan de unidades amplificadoras de FI, una unidad de interfaz y unidades de alimentación.

#### Especificaciones del desempeño del amplificador de FI (70 MHz).

- a) Rango de frecuencias de operación: 40MHz (50 - 90 MHz)
- b) Impedancia de entrada/salida: 75 ohms desbalanceada.  
Pérdidas por retorno: más de 23 dB.
- c) Ganancia: Más de 40 dB.
- d) Rango ajustable de ganancia: Más de 20 dB.
- e) Nivel de entrada: -25 dBm máximo (en ganancia mínima).  
-45 dBm máximo (en ganancia máxima).
- f) Nivel de salida: 0dBm máximo (menos de -5dBm recomendable)
- g) Interfaz: Entrada: conector BNC, hembra.  
Salida: conector BNC, hembra.

#### ■ Interruptor de FI de 2GHz.

Los controladores de conmutación de FI de 2 GHz, proporcionan el control del apagado/encendido de la señal piloto de salida. Estos controladores son usados en modo manual.

Se puede seleccionar el modo de operación local y remoto por medio de un interruptor ubicado en el panel frontal. Cuando el modo remoto está seleccionado, la conmutación puede ser controlada de forma manual desde el procesador remoto.

#### Especificaciones del desempeño del controlador de conmutación de 2 GHz

- a) Rango de frecuencia de operación: 500 MHz (1,750 - 2,250 MHz)
- b) Impedancia de entrada/salida: 50 ohms desbalanceada
- c) Pérdidas por inserción: Menos de 1 dB sobre el ancho de banda de 500 MHz.
- d) Interfaz: Entrada: conector tipo N, hembra  
Salida: conector tipo N, hembra

### 5.3.2 Subsistema de Compensación Automática de Frecuencia (AFC)

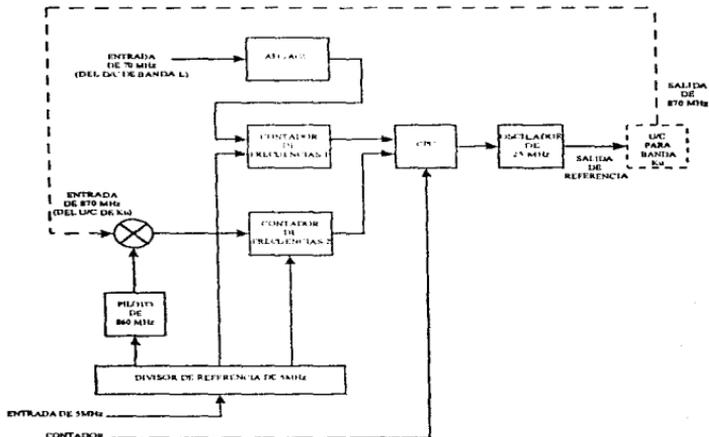
Para compensar el desplazamiento en frecuencia debido al oscilador local del satélite y el efecto *doppler* causado por el movimiento del satélite, se emplea un sistema de compensación automática de frecuencia el cual usa las señales piloto.

La UTS asume que la señal que recibe en la frecuencia de la banda L, es precisa en su valor nominal y la usa como su frecuencia de referencia, de esta manera la UTS transmite a el valor nominal de frecuencia.

El AFC de salida (*OUTBOUND AFC*, Ku a L) es usado para minimizar el desplazamiento en frecuencia de las portadoras en banda L descendientes, por medio de un desplazamiento en sentido inverso aplicado a la frecuencia que se transmite desde el NOCC y CIES.

El AFC de entrada (*INBOUND AFC*, L a Ku) es usado para compensar el desplazamiento en frecuencia de las portadoras transmitidas por las UTS y recibidas por el NOCC y CIES.

Para el control del sistema AFC de salida, se emplea la metodología de lazo abierto, como se muestra en la figura 5.4 :



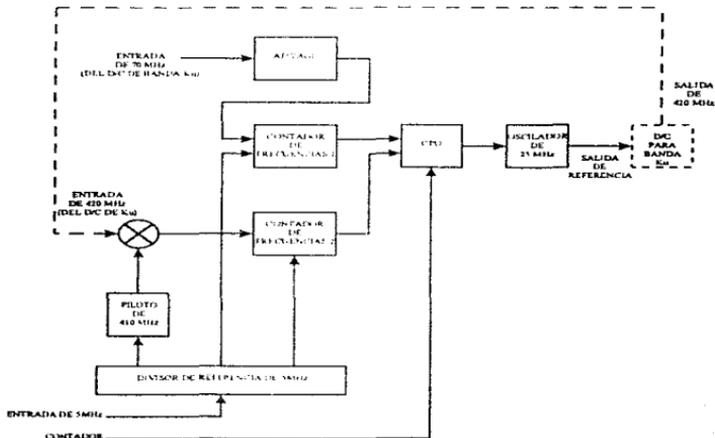
[figura 5.4 :diagrama de bloques del sistema AFC de salida]

Se añade una señal piloto en la etapa de 2 GHz del convertidor ascendente de banda Ku y se transmite a su valor nominal de frecuencia en la banda Ku. La señal piloto es convertida en frecuencia por el desplazamiento en frecuencia causado en la trayectoria de transmisión del satélite. El equipo de AFC de salida extrae la señal piloto a la salida del convertidor descendente de banda L y mide su valor de corrimiento en frecuencia de manera muy precisa.

Dado lo anterior, el equipo AFC desplaza la frecuencia en el oscilador local del convertidor ascendente para banda Ku, con el mismo valor detectado pero en sentido opuesto. De esta manera, las señalizaciones de salida y las portadoras de comunicación son desplazadas en frecuencia antes de que sean transmitidas hacia el satélite, con la finalidad de que sean recibidas por las UTS en las frecuencias nominales.

Para la operación adecuada de este sistema de control de lazo abierto, se requiere de una gran precisión de las frecuencias locales en los equipos convertidores ascendentes/descendentes y en los equipos de AFC. Esto es posible por medio del uso de un oscilador de referencia de muy alta precisión. La dinámica de control para el sistema AFC de lazo abierto de salida no se ve afectada por el retardo causado por la distancia del satélite.

Para el sistema AFC de entrada, también se emplea un sistema de control de lazo abierto, como se puede observar en la figura 5.5.



[figura 5.5 : diagrama de bloques del sistema AFC de entrada]

Se añade una señal piloto a la entrada del convertidor ascendente para banda L y es transmitida al satélite en su valor nominal de frecuencia en banda L. La frecuencia de la señal piloto recibida en banda Ku tiene un corrimiento. El equipo AFC de entrada extrae la señal piloto a la salida del convertidor descendente para banda Ku y mide su valor de corrimiento en frecuencia.

El equipo AFC de entrada, controla la frecuencia del oscilador local del equipo convertidor descendente para banda Ku, de tal manera que el corrimiento en frecuencia de la señal piloto a la salida del convertidor descendente sea mínima.

Se usa un contador digital de frecuencias en el equipo AFC para medir el corrimiento en frecuencia de la señal piloto y del oscilador local en los convertidores ascendente/descendente. Los valores de corrimiento en frecuencia medidos pueden ser transmitidos hacia el NOCC para monitoreo y distribución hacia las IES, las cuales pueden usar la información para preajustar la frecuencia local en sus convertidores ascendente/descendente para el desempeño de la función AFC sin la necesidad de recibir las señales piloto.

El AFC de salida (Ku a L) es usado para minimizar el corrimiento en frecuencia de las portadoras descendentes en banda L, desplazando en dirección opuesta las frecuencias ascendentes en banda Ku de las CHES y las IES.

El AFC de entrada (L a Ku) es usado para compensar el corrimiento en frecuencia de las portadoras en banda Ku recibidas por las CHES y las IES, las cuales son transmitidas de manera ascendente en banda L por las UTS.

Las UTS no requieren efectuar ninguna compensación en frecuencia. La UTS fija su frecuencia de referencia de la señal saliente recibida (OBTDM o SCPC transmitida por una CHES o IES), y usa ésta como referencia para las transmisiones de la señal entrante.

Cada sistema AFC que se encuentra en línea, mide y manda el dato del corrimiento en frecuencia de la trayectoria entrante/saliente de su transpondedor asociado hacia el NOCC, via su Procesador Remoto de Supervisión (RPS). El NOCC distribuye el dato relevante de corrimiento en frecuencia en el satélite a cada estación con facilidades en banda Ku.

Para el AFC de salida, se transmite una señal piloto desde el subsistema de banda Ku en su valor nominal de frecuencia. La señal convertida en frecuencia de banda L es subsecuentemente recibida via la trayectoria de transmisión del satélite. El equipo de AFC

mide el valor de corrimiento y lo envía hacia el NOCC por medio del RPS; también corre en frecuencia al oscilador local del convertidor ascendente con el mismo valor pero en dirección opuesta.

Para el AFC de entrada, se transmite una señal piloto desde el subsistema de banda L en su valor nominal de frecuencia. La señal convertida a frecuencia de banda Ku es posteriormente recibida por medio del subsistema para banda Ku. La señal piloto recibida tiene un corrimiento en frecuencia debido a la trayectoria de transmisión del satélite; el equipo AFC mide este valor, lo envía hacia el RPS y corre la frecuencia del oscilador local del convertidor descendente respectivamente.

Las IES pueden mantener las frecuencias nominales al recibir el dato del corrimiento de AFC desde el NOCC por medio de la tabla de información contenida en un OBTDMD válido.



## 6.1 Funcionalidad de la Estación Terrena de Interconexión.

La Estación Terrena de Interconexión está compuesta de los siguientes bloques funcionales: Procesadores Remotos, Interfaz para el usuario, Unidades de Canal, Unidades de Compensación Automática de Frecuencia (AFC) tanto de entrada como de salida y de subsistemas de Radio Frecuencia (RF). Cabe señalar que las unidades AFC y de RF solo se requieren cuando se trata de una Estación Terrena de Interconexión Remota. Adicionalmente, los RPD y RPC transportan los programas de los grupos funcionales de la estación.

El estado de la llamada en proceso de establecimiento o el estado de una llamada ya establecida que se le despliega al operador del MMI es una copia de las estadísticas que van siendo acumuladas para las llamadas especificadas, las cuales se toman en el momento que la petición llega a la Estación Terrena de Interconexión.

La arbitración de los RPC/RPD tiene las siguientes características:

- a) La arbitración entre RPC y RPD en una Unidad de Canal/PRA puede ser realizado sólo por el RPC.
- b) El RPC tiene las tablas completas de la disponibilidad de las Unidades de Canal, esto elimina el procesamiento dual y contradicciones posibles entre dos cuerpos de arbitraje.
- c) En el caso de que ocurra una petición de acceso al PSTN por parte de una MT, el RPC asignará la conexión a la Unidad de Canal/PRA que este seleccione. Esta selección tendrá prioridad sobre cualquier "tentativa de asignación" y el RPC deberá entonces asignar algún otro canal-B para la petición de acceso al PSTN.

Nota: El PNMSC provee el tipo de llamada para una llamada originada en el PSTN, de tal manera que el RPC pueda decidir si necesita negociar la llamada hacia una Unidad de Canal con los recursos apropiados para el tipo de llamada.

### 6.1.1 Partición de la Estación Terrena de Interconexión

La partición de la Estación Terrena de Interconexión está ligada a su dirección interna. Todos los componentes de la Estación Terrena de Interconexión están en la misma partición.

La Estación Terrena de Interconexión puede ser ubicada dentro de una de las siguientes particiones:

- a) En Línea
- b) Prueba
- c) Espera

### 6.1.2 Procesadores Remotos.

Los procesadores remotos proveen la interfaz entre la Estación Terrena de Interconexión y el NMSC, además provee del control y la asignación de los recursos de las unidades de canal.

Cada Estación Terrena de Interconexión tiene Procesadores Concentradores Remotos (RPC) redundantes, los cuales se comunican con múltiples Procesadores Distribuidores Remotos (RPD). Cada RPC puede soportar hasta 15 RPD y cada RPD puede soportar hasta 60 unidades de canal.

### 6.1.3 Interfaz del Usuario.

La interfaz del usuario consiste de un Equipo Multiplexor Digital (DME), el cual puede multiplexar hasta 30 B canales de datos más D canales de señalización en un PRA de 2Mbps. El DME provee de terminación directa para un ISDN PRA.

La interfaz del usuario desempeña las siguientes funciones:

- Provee las 30B+D interfaces ISDN PRA para el intercambio de información.
- Multiplexa y demultiplexa los PRA en los canales de voz individuales y los correspondientes D canales de señalización.
- Rutea el canal D hacia el Procesador Distribuidor Remoto.
- Rutea los canales de voz hacia las Unidades de Canal.

### 6.1.4 Unidades de Canal.

Las Unidades de Canal son usadas para enviar y recibir las señales de voz/FAX/datos entre la Estación Terrena de Interconexión y la UTS. También son usadas para enviar y recibir las unidades de señalización que son transmitidas durante el establecimiento de una llamada y para precisar el tiempo de llamada.

En caso de transmisión de voz, se inserta un CODEC de voz de baja velocidad entre el circuito de interfaz VF y el circuito de procesamiento de datos. En caso de transmisión de FAX o datos, la Unidad Auxiliar de Interfaz de FAX/datos es conmutada en lugar del CODEC de voz.

Se usa un demodulador basado en un Procesador de Señal Digital (*Digital Signal Processor, DSP*) para proporcionar un buen desempeño en caso de presencia de "sombras" y variaciones en el nivel de la señal debido a un desvanecimiento por trayectorias múltiples, tal y como ocurre en el ambiente móvil terrestre.

El CODEC de voz digital basado en un DSP usa un algoritmo desarrollado especialmente para el ambiente de comunicación móvil satelital. El algoritmo de Excitación Multibanda Mejorada

**(IMBE)** proporciona voz digital codificada a 6,600 bps lo cual permite que la voz sea transmitida en un canal de 5 kHz.

La Unidad de Canal es la interfaz entre Equipo Multiplexor Digital con audio a 4 hilos y el subsistema de FI a 70 MHz.

En este modo de señalización, la Unidad de Canal recibe la unidad de señalización (SU) desde el la UTS. La Unidad de Señalización es demodulada, decodificada y pasada hacia el Procesador Distribuidor Remoto por medio de una interfaz RS-232 a 9,600 bps.

#### 6.1.5 Unidades AFC de entrada y salida (*inbound* y *outbound*)

Para una Estación Terrena de Interconexión Remota, el equipo de conversión de frecuencia convierte las señales de FI de las Unidades de Canal SCPC en señales de banda Ku. Estos convertidores de frecuencia incorporan las funciones de AFC para compensar los errores en frecuencia que ocurren en el satélite, en las señales de entrada y salida. Las correcciones hechas por las unidades de AFC son enviadas por el PNMSC hacia el RPS de la Estación Terrena de Interconexión Remota por medio de la MNE.

La descripción de la operación de las unidades de AFC, se encuentra en el capítulo donde se habla de los subsistemas de RF/FI.

#### 6.1.6 Subsistemas de Radio Frecuencia

Los Subsistemas de Radio Frecuencia (RF) con control de AFC solo se requieren cuando se trata de Estaciones Terrenas de Interconexión Remota. Estos equipos son muy similares a los instalados en la estación principal con la excepción de que no son requeridas la generación de la señal piloto ni las facilidades para su medición.

#### 6.1.7 Unidad Auxiliar de Interfases (AIU)

La Unidad Auxiliar de Interfases para la Estación Terrena de Interconexión (GW-AIU), es una tarjeta que puede ser conectada a una Unidad de Canal para añadirle la funcionalidad de llamadas de FAX y datos.

La GW-AIU añade las siguientes interfases funcionales a la unidad de canal.

- Interfaz MODEM V22bis.
- Interfaz para FAX de grupo 3, a 4 hilos.
- Interfaz RS-485 de datos.
- Interfaz RS-485 de control/comando

La AIU es un módulo que se inserta muy fácilmente. La tarjeta ocupa 42mm de espacio en el gabinete y tiene una profundidad de 233.3 mm. Lo anterior permite que se puedan montar hasta 7 AIU en un nivel de un gabinete.

Los indicadores del panel frontal le permiten al usuario verificar su operación normal. La AIU opera con la alimentación de una simple fuente de 12V. La corriente suministrada no excede de 1A.

#### 6.1.8 Operación.

Si una llamada con identificación de FAX o de datos se establece en la unidad de canal, ésta se encarga de enrutar la señal de audio a 4 hilos desde la red terrestre hasta la AIU. La AIU recibe y manda paquetes de datos desde/hacia el enlace satelital por medio de la unidad de canal. Los datos son transferidos al MODEM de FAX/datos que modulará las líneas de audio.

La AIU puede monitorear la línea de 4 hilos para determinar si una llamada tiene portadora de FAX o datos. Una vez hecha la detección, se envía una señal de control hacia la unidad de canal. Si se pierde la portadora del MODEM o el protocolo del FAX expira por tiempo, se manda una señal de limpieza hacia la unidad de canal para que inicie la finalización de la llamada.

Especificaciones para la interfaz de línea a 4 hilos.

Impedancia de línea:	600Ω (resistivos)
Voltaje de entrada en la terminal E:	± 70V máximo.
Caida de voltaje en la terminal E:	< 4V @ 60 mA
Corriente máxima en la terminal E:	100 mA
Voltaje máximo de salida en la terminal M:	± 10V (seleccionable)
Voltaje de alimentación:	12V <sub>DC</sub> ± 0.5V
Corriente de alimentación:	< 1A
Nivel del transmisor:	-14 dBm ± 1dB (ajutable)
Rango dinámico del receptor:	De -10 a -43 dBm
Temperatura de operación:	De 0 a 45°C
Humedad de operación:	< 95% (no condensada)

#### 6.1.9 Distribución de FI.

Cada subsistema de Unidades de Canal en la Estación Terrena de Interconexión, contiene hasta 30 canales de combinación/distribución que se conectan al subsistema de banda Ku.

## 6.2 Procesadores de la Estaciones Terrenas de Interconexión.

Las Estaciones Terrenas de Interconexión cuentan con los siguientes tipos de procesadores:

### 6.2.1 Procesador Concentrador Remoto (RPC)

Cada Estación Terrena de Interconexión tiene Procesadores Concentradores Remotos en configuración redundante, los cuales se conectan las dos vías MNE. Un RPC es asignado para que opere en línea y el otro queda como respaldo según lo defina el PNMSC.

Un RPC puede soportar un total de hasta 15 Procesadores Distribuidores Remotos (RPD).

El RPC hace la función de interfaz entre el NMSC y los RPD. El RPD monitorea y asigna sus recursos para soportar las peticiones de establecimiento de llamadas. El RPC dirige la operación de los RPD que tiene conectados y maneja toda la comunicación con el NMSC.

El RPC contiene un CPU multi-procesos en tiempo real con dos interfases *ethernet*. Estas interfases se conectan al *ethernet* de interconexión de la Estación Terrena de Interconexión (MGE).

### 6.2.1 Procesador Distribuidor Remoto (RPD)

Una Estación Terrena de Interconexión contiene un número de Procesadores Distribuidores Remotos (RPD) y cada uno soporta hasta dos interfases PRA/ISDN (60 canales).

El RPD es responsable de controlar hasta 60 unidades de canal (2 PRA) en una Estación Terrena de Interconexión. El RPD proporciona la interfaz de protocolo de señalización entre la Estación Terrena de Interconexión y su PSTN/PABX asociado, por medio de direccionar cualquier llamada a sus recipientes adecuados.

Cada RPD consiste de un gabinete montado en un chasis. El RPD contiene una tarjeta CPU multi-procesos en tiempo real con una tarjeta RS232C, RAM e interfaz *ethernet*, también se suministra una tarjeta hija para conexión a *ethernet*. Las dos interfases *ethernet* son conectadas al MGE.

El RPD es configurado con un CPU SPARC 3E con 16 MB de memoria. Una unidad de disco duro separada es montada típicamente en el gabinete sobre el RPD. El tamaño mínimo para el disco duro es de 1,535MB con 669MB disponibles.

Un máximo de 8 tarjetas con 8 puertos RS232C pueden ser instaladas para proporcionar la interfaz con las 60 unidades de canal. Se pueden instalar menos tarjetas en el RPD dependiendo de los requerimientos del sistema.

Las tarjetas RS232C instaladas son 8 canales MVME332xt controladores de comunicación serial asincrónica con módulos de transición con conector MVME710 en la parte posterior. Los conectores usados para la interfaz en los módulos de transición son DB25.

Una tarjeta de 64 kbps genera el canal de señalización del PRA (canal D), el cual es pasado hacia el equipo multiplexor digital.

Un máximo de dos tarjetas de 64 kbps pueden ser instaladas en un RPD, una por cada PRA. Si solo se requiere de un PRA entonces solo se necesita instalar una tarjeta de 64 kbps.

#### 6.2.3 Procesador de Supervisión Remota (RPS)

Para una Estación Terrena de Interconexión Remota se necesita una computadora llamada Procesador de Supervisión Remota. Una Estación Terrena de Interconexión instalada en una estación principal, tiene acceso al RPS principal del sitio.

El RPS monitorea las alarmas de los equipos en las Estación Terrena de Interconexión y las envía hacia el PNMSC por medio del MNE para su procesamiento.

El RPS también sirve como interfaz entre el PNMSC y las unidades AFC del subsistema para banda Ku.

#### 6.2.4 Grupos Funcionales de Programas (SFG)

Los programas del sistema dentro de la Estación Terrena de Interconexión están divididos en los siguientes Grupos Funcionales de Programas (SFG)

- Programas RPC de la Estación Terrena de Interconexión
- Programas RPD de la Estación Terrena de Interconexión.

Estos Grupos Funcionales de Programas tienen una relación uno a uno con los componentes del equipo de cómputo descrito previamente. La ejecución de varias tareas ocurren durante los procesos.

##### 6.2.4.1 Programas RPC de la Estación Terrena de Interconexión

El Grupo Funcional de Programas RPC de la Estación Terrena de Interconexión reside en la computadora RPC y es responsable de:

- Monitorear el estado de los recursos comprendidos en la Estación Terrena de Interconexión.

- **Asignar los recursos de la Estación Terrena de Interconexión como sean requeridos para soportar las peticiones de llamadas desde el PNMSC y el PSTN y/o las interfaces del sistema.**
- **Dirigir la operación de los RPD conectados y manejar toda la comunicación con el PNMSC. Una Estación Terrena de Interconexión incluye dos computadoras RPC, una asignada para operar en línea y la otra como respaldo, según sea asignado por el PNMSC.**
- **Cargar los programas apropiados dentro de los RPD conectados cuando se encuentra en estado de re-establecimiento (*restart*).**
- **Interconectar con el MNE y proporcionar el procesamiento de los paquetes del *ethernet* para permitir la comunicación con el NMS.**

#### **6.2.4.2 Programas RPD de la Estación Terrena de Interconexión.**

El Grupo Funcional de Programas RPD de la Estación Terrena de Interconexión reside en las computadoras RPD y hace las siguientes funciones:

- **Controla a las Unidades de Canal conectadas, las cuales proporcionan el enlace físico entre las señales en banda Ku usadas sobre el enlace satelital y las interfaces PSTN y/o del sistema asociado.**
- **Proporciona el protocolo de interfaz entre la Estación Terrena de Interconexión y la interfaz del PSTN y/o sistema asociado al nivel de llamada individual**
- **Monitorea el estado de los recursos que están conectados directamente al RPD.**
- **Dirige cualquier llamada hacia su recipiente apropiado por medio del RPC o del PSTN/sistema asociado.**
- **Maneja la retención de llamada, iniciación de llamada en el PSTN/sistema.**
- **Se comunica por medio del MGE.**

#### **6.2.5 Estrategias para el caso de fallas**

El Sistema de Comunicación Móvil Satelital emplea dos estrategias para minimizar los efectos de la falla de algún equipo.

- **Configuración con respaldo.**

Cuando se detecta la falla de algún equipo perteneciente a un Grupo de Equipo Funcional (FEG), un equipo configurado como respaldo se activa para sustituir al equipo en falla o con operación deficiente.

Esto aplica para los RPC de la Estación Terrena de Interconexión que están bajo el control del PNMSC.

- **Reconfiguración.**

El sistema tiene múltiples equipos idénticos para desempeñar funciones específicas; por lo tanto la falla de cualquier simple unidad, sólo reduce la capacidad total del sistema en lugar de inhibir la capacidad de operación. Esto aplica para las unidades de canal bajo el control del PNMSC.

## 7.- Estaciones Terminales del Usuario (MT).

En este capítulo se mencionarán las características más importantes de las terminales de los usuarios. Es muy importante remarcar que hay un elemento fundamental que es común para todos los tipos de terminales del usuario. Este elemento es conocido como *NEC Mobile Satellite Telephone*, modelo S1. A continuación se hará una descripción de las características de esta unidad.

### 7.1 Funcionamiento General del NEC S1.

El teléfono de comunicación móvil via satélite, (marca NEC, modelo S1), provee los servicios de comunicación de voz, FAX y datos para los usuarios que cuenten con instalaciones tanto fijas como móviles.

El S1 tiene las funciones de un teléfono móvil que se puede conectar tanto a una red privada como a un PSTN por medio de un enlace satelital. La funcionalidad del S1 provee al usuario con los servicios equivalentes, (más algunos otros dependiendo del tipo de antena usada), que un teléfono celular, con la diferencia que la zona de operación comprende toda el área que cubre la huella del satélite.

Las funciones del S1 soportan lo siguiente:

- Operación de voz con un teléfono parecido a los de comunicación celular, que además cuenta con micrófono y bocinas adicionales para uso a manos libres. El CODEC de voz tiene las siguientes funciones:
  - CODEC de 4800 bps que codifica hasta 6600 bps con FEC
  - Supresor de eco
  - Detector de umbral de ruido adaptable (para ayuda en ambientes móviles ruidosos).
  - Detección y generación de DTMF
- Transmisión de emergencia (mensaje de alarma) por medio de una línea de entrada dedicada.
- Interfaz AIU (*Auxiliary Interface Unit*) para la conexión de equipo proporcionado por otro usuario, para aumentar las funciones del S1. Esta interfaz contiene los siguientes puertos secundarios:
  - Puerto de control para mensajería y control de AIU
  - Puerto de datos digitales
  - Puerto de 4 hilos VF (*Voice Frame*)
- Puerto para mensajería bidireccional de baja capacidad
- Puerto de mantenimiento para pruebas y control del S1.

- Interfaz RS-232 de datos que soporta el protocolo HAYES MODEM.
  - Interfaz telefónica de 4 hilos con señalización E&M.
  - Interfaz telefónica de 2 hilos para abonado que soporta
    - Máquinas de FAX del grupo 3
    - Aparato telefónico estándar para abonado a 2 hilos.
- Opción de GPS.
- Interfaz GPS como un puerto RS-232 con protocolo NMEA.
  - Puerto para antena de GPS, haciendo uso de la electrónica GPS interna del S1.
- Puerto de RF para la antena el cual soporta directamente una gran variedad de antenas.
  - Puerto de control de antena para una antena gobernable
  - Entrada de control de arranque para sensar el interruptor de arranque de un vehículo.
  - Operación con la alimentación de una fuente de 12V DC no regulada (protección contra voltaje de regreso, sobre/bajo voltaje y transitorios)

### 7.1.1 Construcción

El NEC S1 es una estructura simple con construcción para uso rudo que consiste de una base de aluminio troquelado y una cubierta de aluminio también troquelado. El panel frontal es una placa de aluminio de 2mm. Todos los conectores están atornillados a través del panel frontal, lo cual provee un acoplamiento óptimo.

La base para el montaje es una placa de acero inoxidable de 3mm doblada y soldada, lo cual permite una sujeción sencilla y rápida para el S1.

Internamente, todas las tarjetas de circuitos están apoyadas en postes de metal ubicados en puntos múltiples en cada tarjeta para evitar vibraciones y oscilaciones armónicas. Además del cable de alimentación interior, no hay ningún otro cable interno; esto incrementa substancialmente la integridad de las conexiones de las tarjetas internas.

Se ha adoptado extensivamente la tecnología de montaje en superficie en el diseño, lo cual reduce el movimiento de masa en las tarjetas de circuitos durante los periodos de alta vibración. Cualquier componente de tamaño grande se sujeta a la tarjeta de circuitos por medio de un adhesivo.

La unidad puede ser montada en cualquier orientación y no requiere de enfriamiento riguroso para operar dentro de las condiciones ambientales especificadas.

### 7.1.2 Especificaciones Mecánicas Generales del S1:

Ancho:	300 mm.
Fondo:	350 mm.
Alto:	150 mm.
Peso:	6.4 kg.

### 7.1.3 Especificaciones Ambientales Generales:

La S1 está construida específicamente para un ambiente móvil/transportable hostil.

Vibración y golpes	Para AS1099.2.6 y AS1099.2.27
Sellado:	Sellado contra polvo con empaques de hule.
Humedad:	A prueba de salpicaduras externas.
Temperatura de operación:	De -10 a +55 °C
Humedad:	95% (de 0 a +35 °C)
	75% (arriba de +35 °C)
Voltaje de operación:	De +10.5 a +16.5 V DC
Consumo de potencia (máximo):	Apagado 240 mW
	Modo de espera 28 W
	Transmitiendo 55 W

La terminal no está diseñada para operación cuando es expuesta de manera continua a la luz solar sin filtrar.

## 7.2 Terminal Móvil.

La terminal móvil es el NEC S1 montado en un estructura universal de acero inoxidable.

El conjunto de accesorios para la terminal móvil contiene los siguientes elementos:

- Unidad S1.
- Soporte para montaje.
- Cable para alimentación y control (5,000 mm)
- Aparato telefónico con pantalla LCD iluminada.
- Soporte para el aparato telefónico con cable incluido (5,000 mm).
- Antena tipo mástil (6dBi) con 500 mm de cable coaxial.
- Soporte para la antena.
- Manual del usuario.
- Bocina para operación a manos libres.
- Micrófono para operación a manos libres.

## Operación

La operación es totalmente similar a la de un teléfono celular estándar.

## Especificaciones Generales

<b>NEC S1:</b>	Las especificaciones ya se mencionaron anteriormente.
<b>Ganancia de la antena:</b>	6dBi
<b>Tipo de antena:</b>	Mástil (800 mm de longitud).
<b>Peso del soporte:</b>	2.5 kg.
<b>Aparato telefónico:</b>	Del estilo del celular NEC C3

## Opciones

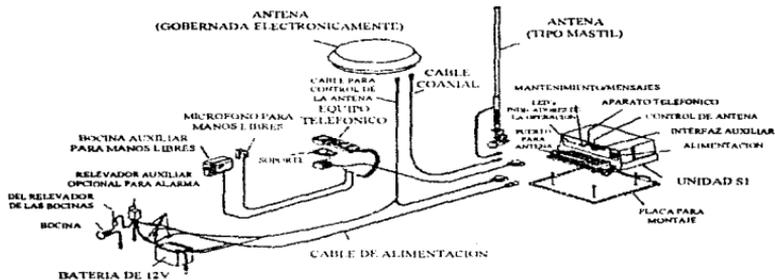
- 1) **Paquete de ganancia media controlable electrónicamente que contiene:**
  - Antena de bajo perfil (7.5 dBi a 9.5 dBi)
  - 2,500 mm de cable coaxial.
  - Cable de alimentación/control para la antena (5,000 mm)
- 2) **Paquete de alta ganancia controlable electrónicamente que contiene:**
  - Antena de bajo perfil (10.5 dBi a 12.5 dBi)
  - 2,500 mm de cable coaxial.
  - Cable de alimentación/control para la antena (5,000 mm)
- 3) **GPS integral o externo.**
- 4) **Extensiones de cable coaxial (varias longitudes).**
  - 2,500 mm
  - 4,000 mm
  - 5,000 mm
  - 7,500 mm

Nota: La longitud máxima de cable coaxial es de 10,000 mm usando el NEC especificado.
- 5) **Sistema de operación dual.**

Esta opción soporta la operación conjunta con un teléfono celular NEC. Sólo se usa un equipo. Las llamadas salientes pueden ser conmutadas automáticamente a el sistema celular, si esto no es posible debido a congestión o ubicación fuera del área de cobertura, el sistema de comunicación satelital es seleccionado. Se puede seleccionar al sistema de comunicación satelital como primera opción con sólo oprimir una tecla. Las llamadas entrantes son ruteadas de manera automática desde cualquiera de los dos sistemas hacia el aparato telefónico.

## Opciones Suministradas por el Usuario

- 1) Equipo externo de FAX a 2 hilos.
- 2) Equipo/terminal de datos externa con interfaz RS-232.
- 3) Cualquier otro equipo compatible con la interfaz AIU



[figura 7.1 : terminal móvil]

### 7.3 Terminal Transportable.

La terminal transportable es el NEC S1 montado en una maleta de transporte tipo portafolios rígido que tiene una antena plana integrada.

El paquete transportable es suministrado con los siguientes elementos:

- Maleta de transporte
- Unidad S1.
- Aparato telefónico con soporte
- Antena de plato plano.
- Convertidor AC/DC
- Cable para AC.
- Cable para DC.
- Manual del usuario.

La unidad S1 y todos los componentes están sujetos a una plataforma a prueba de golpes dentro de la maleta, esto permite mayor resistencia a los golpes que se pueden recibir durante el transporte.

La maleta es resistente a la radiación ultravioleta proveniente de los rayos solares y también es a prueba de salpicaduras. El material con el cual se elabora la maleta, es usado de manera extensa en aplicaciones militares.

### Operación

La maleta queda plana al abrirse y la tapa superior se libera completamente. En ocasiones es conveniente retirar completamente la tapa superior.

El cable del convertidor AC/DC se toma de la maleta y se conecta a la toma de corriente eléctrica más cercana. (Este paso no se requiere si se cuenta con la batería opcional instalada)

La antena de plato plano se rota hasta la elevación aproximada del satélite

Se presiona la tecla de encendido (PWR) en el aparato telefónico y se espera hasta que se encienda la pantalla indicando que el S1 está listo para operar

Se rota la maleta (terminal) para apuntar la antena hacia el satélite mientras se monitorea el nivel de recepción de la señal en la pantalla del aparato telefónico. Cuando el nivel de recepción de la señal alcanza el nivel máximo, la unidad está lista para operar.

### Especificaciones Generales

NEC S1:	Las especificaciones ya se mencionaron anteriormente.
Dimensiones de la maleta:	Ancho 470 mm Fondo: 390 mm Alto: 210 mm
Maleta:	Polietileno de alto peso molecular moldeado, resistente a la radiación ultravioleta y a cuarteaduras, alta resistencia a golpes y caídas.
Peso:	12 kg sin la opción de la batería instalada 20 kg con la opción de la batería instalada
Ganancia de la antena:	16dB
Tipo de antena:	Arreglo impreso en un plato plano, plegable.
Aparato telefónico:	Del estilo del celular NEC C3.
Voltaje de alimentación:	De 85 a 260 VAC ó de +10.5 a +16.5 VDC.

## Opciones

### 1) Batería recargable con cargador:

Voltaje de alimentación:	De 85 a 260 VAC.
Tiempo de operación de la batería:	Modo de espera: 7 hrs. En transmisión continua: 4 hrs.
Tiempo de re-carga:	14 hrs.
Indicadores:	On-charge/Power/Dis-charging Battery state

#### Notas:

La batería y el cargador se colocan en la parte inferior del aparato telefónico y del convertidor AC/DC.

La fuente de alimentación puede re-cargar la batería mientras el equipo se encuentre en modo de espera o apagado, el tiempo de carga es el mismo para ambos modos. Si la unidad se encuentra en modo de transmisión, la carga de la batería cesará hasta que se termine la transmisión y regrese al modo de espera o bien si se apaga.

### 2) GPS integral o externo.

#### GPS integral:

La antena se localiza en un brazo móvil de soporte, el cual debe de rotarse a una posición vertical para la correcta operación del receptor del GPS. El ensamble de la antena se sujeta de manera permanente a la maleta y se acomoda dentro de ésta durante la transportación. Esta antena es independiente de la antena de la unidad S1.

#### GPS externo:

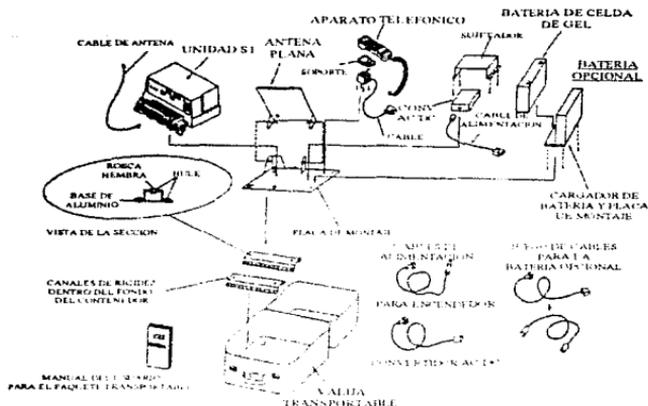
El GPS externo se debe conectar en el conector provisto para ello, el cual se encuentra en el panel frontal. La alimentación debe ser suministrada de manera independiente para el GPS externo.

### 3) Cable de alimentación de 12V DC, (con longitud de 5,000mm)

Si el equipo se conecta a una fuente externa de -12 VDC nominales, no es necesario re-cargar la batería interna.

## Opciones Suministradas por el Usuario

- 1) Equipo externo de FAX a 2 hilos.
- 2) Equipo/terminal de datos externa con interfaz RS-232.
- 3) Cualquier otro equipo compatible con la interfaz AIU.



[figura 7.2 : terminal transportable]

#### 7.4 Terminal Fija.

La terminal fija es una unidad S1 montada en un estructura de acero inoxidable que puede ser colocada en una pared o en un gabinete

El paquete para instalación fija consta de lo siguiente

- Unidad S1
- Estructura de acero inoxidable.
- Plato de antena de 21 dBi de ganancia
- 10,000 mm de cable coaxial de baja pérdida
- 10,000 mm de cable par trenzado (2 hilos) de 600 ohms, terminado con conectores RJ11
- Cable de tierra física.
- Convertidor AC/DC
- Cable de alimentación AC
- Cable de alimentación DC
- Manual del usuario

La interfaz terminal para el usuario es provista por medio de un puerto VF a 2 hilos. Este puerto soporta un equipo telefónico estándar o un FAX a dos hilos, los cuales deben ser suministrados por el usuario. Tanto el equipo telefónico como el fax pueden ser instalados a una distancia de hasta 1km de la unidad S1, usando cable par trenzado estándar de 600 ohms.

La interfaz a 2 hilos puede soportar hasta dos equipos telefónicos conectados en paralelo. Por lo tanto se pueden conectar tanto un equipo telefónico como un FAX por medio de la conexión dúplex que viene provista normalmente en la mayoría de los equipos de FAX.

La antena sugerida para esta configuración es del tipo de un plato sólido con una ganancia de 21 dBi. Se puede conectar algún otro tipo de antena de menor ganancia si fuera necesario.

#### Operación:

El equipo debe ser alimentado continuamente por medio del convertidor AC/DC.

Para hacer uso del equipo, el usuario levanta el auricular, espera a recibir tono de marcación y marca el número de la forma cotidiana. Para terminar la llamada, el usuario simplemente coloca el auricular en su sitio (cuelga el teléfono).

En caso de que el sistema no esté disponible, se generara un tono diferente para avisar al usuario de esta situación

#### Especificaciones generales

NEC S1:	Las especificaciones ya se mencionaron anteriormente.
Antena:	Tipo plato parabólico sólido
	Ajuste de elevación: de 25 a 85 grados
	Ajuste de azimuth 360 grados
	Montaje fijo con varias opciones.
Longitud de cable coaxial:	10,000 mm
Voltaje de alimentación:	De 85 a 260 VAC
	o
	de +10.5 a +16.5 VDC
Equipo telefónico:	Suministrado por el usuario

#### Opciones

##### 1) Montaje en pared, con poste

Permite el montaje del plato de la antena en una pared vertical, con 600 mm de tolerancia para la orilla de la azotea. Se recomienda solo el uso del poste suministrado, el uso de uno más largo incrementa el esfuerzo por carga de viento en los puntos de sujeción.

##### 2) Montaje en azotea.

Permite el montaje del plato de la antena sobre un techo plano o inclinado. Requiere la conexión de 3 alambres (retenidas) en los puntos de sujeción. No se recomienda el uso

de un poste más largo que el suministrado debido al incremento del esfuerzo por carga de viento en los puntos de sujeción.

### 3) Montaje en el suelo.

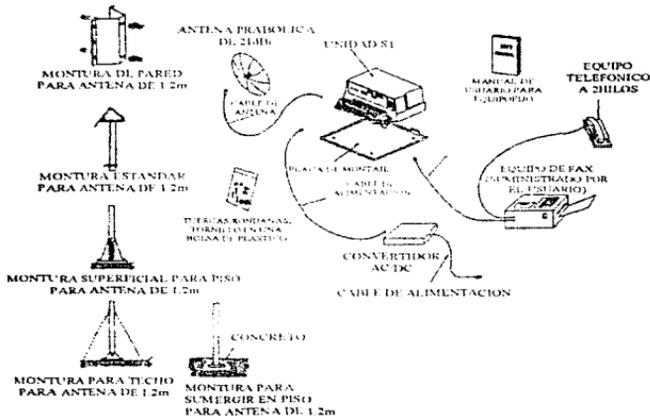
Se requiere de un pozo con las dimensiones específicas y relleno de concreto para dar el soporte adecuado. Si se requiere usar un poste más largo que el suministrado, es necesario incrementar las dimensiones del pozo para compensar al incremento del esfuerzo por carga de viento.

### 4) Placa plana para montaje.

Permite el montaje de la antena sobre una base plana de concreto existente o sobre cualquier otro tipo de base estable con la resistencia suficiente. Se recomienda el uso de los herrajes y tornillería suministrados o que cuenten con las especificaciones requeridas. No se recomienda aumentar la longitud del poste suministrado.

Opciones Suministradas por el Usuario

- 1) Equipo externo de FAX a 2 hilos
- 2) Equipo/terminal de datos externa con interfaz RS-232.
- 3) Cualquier otro equipo compatible con la interfaz AUI.



[figura 7.3 : terminal fija]

## 7.5 Terminal Marina.

### Descripción general.

La terminal marina es la unidad S1 montada en una estructura de acero inoxidable que puede ser ubicada en una pared, colgada de un techo o colocada en un gabinete.

El paquete para instalación marina consta de lo siguiente:

- Unidad S1.
- Estructura de acero inoxidable
- Aparato telefónico con soporte.
- Antena controlable electríicamente
- Cable para alimentación y control de la antena
- Cable coaxial de baja pérdida
- Convertidor AC/DC.
- Cable para alimentación de AC
- Cable para alimentación de DC
- Manual del usuario.

El aparato telefónico es del estilo del celular NEC C3 con estructura montado. La interfaz a 2 hilos puede soportar hasta dos equipos telefónicos conectados en paralelo. Por lo tanto se pueden conectar tanto un equipo telefónico como un FAX por medio de la conexión dúplex que viene provista normalmente en la mayoría de los equipos de FAX

### Operación.

El uso del aparato telefónico es similar al de un teléfono celular estándar. La operación del equipo es idéntico a la de la opción móvil.

### Especificaciones Generales.

NEC S1:	Las especificaciones ya se mencionaron anteriormente.
Antena:	Tipo: Controlable electríicamente.
	Ganancia: De 10.5 a 12.5 dB
Cable coaxial:	10,000 mm de longitud
Cable de alimentación/control:	10,000 mm de longitud
Aparato telefónico:	Del estilo del celular NEC C3
Voltaje de alimentación:	De 85 a 260 VAC
	o
	de +10.5 a +16.5 VDC

### Opciones.

1) GPS integral o externo.

2) Cubierta protectora semi-sellada a prueba de corrosión.

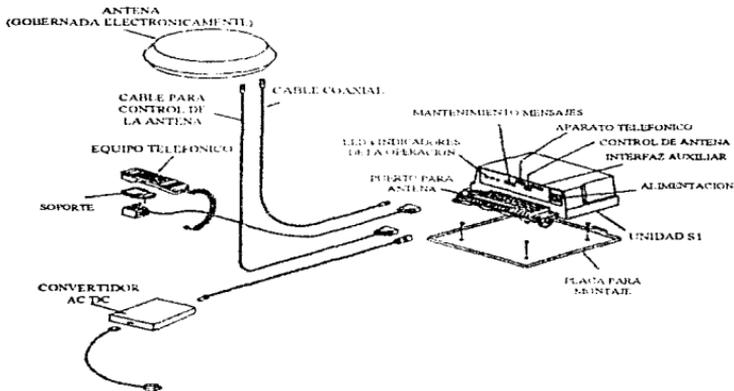
Esta cubierta protectora está provista por un ventilador y es usada para proporcionar protección adicional a la unidad S1 por si es expuesta a la brisa marina. Cabe señalar que no está herméticamente sellada.

### Opciones Suministradas por el Usuario

1) Equipo externo de FAX a 2 hilos.

2) Equipo/terminal de datos externa con interfaz RS-232.

3) Cualquiera otro equipo compatible con la interfaz AIU.



[figura 7.4 : terminal marina]

## **8.- Costos del sistema.**

En este capítulo se hará una estimación aproximada de los costos del sistema, mencionando la relación beneficio/costo para GMM y por lo tanto la rentabilidad de la inversión.

El costo de la red se puede dividir en dos partes:

La primera parte corresponde al suministro, instalación y puesta en operación de la estación de administración y control de la red que además cuenta con una estación terrena de interconexión ubicada en el mismo sitio. Esta primera etapa se puede dividir en los siguientes conceptos:

- Antenas para banda Ku y Banda L.
- Equipo de RF para banda Ku y banda L.
- Equipo de banda base para la estación de administración y para la estación de interconexión.
- Equipo para administración y control del sistema.
- Instalación y prueba de la estación de administración y de la estación terrena de interconexión.

Tomando en cuenta todo el equipo asociado, los gastos por instalación y puesta en operación, el costo para esta primera etapa es de aproximadamente \$5'500,000.00 (USD)

La segunda parte corresponde al suministro de las terminales móviles, transportables y semi-fijas. Tomando en cuenta un total de 500 terminales distribuidas en 250 móviles, 150 transportables y 100 semi-fijas, el costo total aproximado (sin contemplar la instalación) es de \$4'000,000.00 (USD)

Como puede observarse el costo total aproximado es de \$9'500,000.00 (USD). Generalmente este tipo de inversiones puede hacerse mediante financiamiento a plazo de varios años con

**tasas de interés relativamente bajas. Como ejemplo se puede citar que para una cantidad similar, una institución financiera australiana propone un financiamiento con el 15% de anticipo, interés anual de 7.9% y un total de 17 reembolsos por un periodo de 10 años. Otro ejemplo es el financiamiento propuesto por una institución japonesa para una cantidad similar, este plan es con el 20% de anticipo, un interés anual de 7.3% y un total de 9 reembolsos por un periodo de 5 años.**

**Tomando en cuenta los gastos actuales que tiene GMM por concepto de llamadas de larga distancia y de telefonía celular, aunado al beneficio que representaría el manejo a tiempo de los inventarios y de la información que generan los elementos móviles, la inversión tendría un tiempo de recuperación de 8 años.**

**Como puede observarse, la implementación de este proyecto resulta sumamente factible si se toma en consideración como un proyecto de mediano-largo plazo.**

**Cabe señalar que no es posible especificar datos exactos debido a que la información necesaria para hacer el cálculo es de carácter confidencial para las empresas involucradas. Sin embargo los datos que aparecen se aproximan mucho a los reales.**

## **9.- Conclusiones.**

**Las soluciones de ingeniería para algún problema o requerimiento en particular, deben de estar sustentadas por el conocimiento básico del desarrollo de la tecnología.**

**Hoy en día los avances tecnológicos ocurren de manera acelerada, la obsolescencia de algunos productos se presenta en sólo algunos meses debido a que nuevos productos salen al mercado con mejoras en el desempeño, como ejemplo muy representativo podemos citar a las computadoras**

**En la mayoría de los casos, la mejora en el desempeño de los equipos se debe al avance en la fabricación de los componentes electrónicos, lo que resulta en el mejor aprovechamiento del espacio y en el incremento de la calidad del funcionamiento**

**Para el caso de las comunicaciones via satélite, los principios fundamentales que las hacen posibles son tan antiguos como las leyes de la mecánica clásica y las leyes de la gravitación universal; otras menos antiguas como las teorías de la radiación y propagación de las ondas electromagnéticas y algunas más recientes como es el uso de las computadoras como elemento fundamental en casi todos los elementos de la tecnología**

**En nuestro país, el mayor auge de las comunicaciones via satélite se dio en la década de los años ochenta, debido a las necesidades de las grandes empresas privadas. En ese entonces la comunicación via satélite representaba la opción óptima para comunicar a los elementos de redes a nivel nacional, debido a las condiciones en que se encontraba la infraestructura de la red terrestre de comunicaciones**

**Poco a poco se ha ido transformando la infraestructura de la red terrestre al incrementarse la implementación de las redes de fibra óptica en el territorio nacional. Cabe señalar que la comunicación por medio de fibra optica es el principal competidor de la comunicacion via satélite en general, pero en algunos casos no existe competencia alguna entre los dos medios, tal es el ejemplo de la comunicación móvil vía satélite**

**La principal ventaja que ofrece la comunicación por fibra óptica sobre la comunicación via satélite es la mayor velocidad y capacidad en el volumen del tráfico de información. La principal desventaja de la fibra óptica es el hecho de que aunque su fabricación es relativamente barata, el proceso de instalación es sumamente caro y tardado, y en algunos sitios es prácticamente incoesteable**

La principal ventaja de la comunicación via satélite en general es que puede instalarse una estación satelital prácticamente en cualquier sitio. Para el caso de la comunicación móvil via satélite, la ventaja que tiene sobre su competidor la telefonía celular es que no está restringida a zonas de cobertura celular, sino que su cobertura es total en cualquier punto del territorio nacional.

El uso de la banda L para comunicación móvil via satélite es de muy reciente desarrollo a nivel mundial, el sistema propuesto es similar a uno que se implemento y actualmente funciona en Australia hace poco tiempo. Para el caso de nuestro país su aplicación es posible gracias a las características de los satélites Solidaridad, la SCT tiene implementado en el país el único sistema que hace uso de la banda L para comunicación móvil via satélite, sin embargo no se le ha dado una comercialización amplia

Para el caso del sistema propuesto, representa la solución a una necesidad muy específica de comunicación entre los elementos móviles de una empresa y algunos sitios fijos

Hoy en día las grandes empresas cuentan con esquemas de redes de comunicación que incorporan el uso de una gran diversidad de tecnologías como por ejemplo: enlaces telefónicos por líneas conmutadas, enlaces telefónicos por líneas privadas, enlaces de radio, enlaces de microondas, enlaces satelitales y enlaces por fibra óptica. La incorporación de diversos tipos de tecnologías en un sistema de comunicaciones aumenta la complejidad para el mantenimiento y administración del mismo, pero en cambio aumenta la disponibilidad de los servicios para los usuarios, lo cual es la meta que se debe perseguir

Desde mi opinión personal, uno de los factores que más complican el desempeño de los sistemas de comunicaciones es la falta de atención en cuanto a la implementación y mantenimiento de los sistemas de alimentación eléctrica.

Estoy plenamente convencido que si se invierten los recursos necesarios para tener un sistema de alimentación eléctrica en óptimas condiciones, la incidencia de fallas en los equipos será mínima, y por consecuencia el desempeño de los sistemas de comunicaciones estará más apegado a los valores de diseño.

## 10.- Bibliografía.

En este capítulo se hará un listado de las obras en las que me apoyé para la elaboración del presente documento. Cabe señalar que la lista a continuación está compuesta exclusivamente del material usado para el desarrollo.

### SATÉLITES DE COMUNICACIONES

Rodolfo Neri Vela  
MacGraw-Hill/Interamericana de México, S. A. de C. V.

### DIGITAL SATELLITE COMMUNICATIONS

(Second edition)  
Tri T. Ha  
McGraw-Hill Publishing Company

### SATELLITE COMMUNICATIONS

(Second edition)  
Robert M. Gagliardi  
Van Nostrand Reinhold.

### SISTEMA MEXICANO DE COMUNICACIONES MÓVILES VÍA SATÉLITE

(Propuesta técnica, VOL. I, II y III)  
Elaboración conjunta de:  
NEC de México, S. A. de C. V.  
NEC Australia Pty. Ltd.  
NEC Corporation. (Japón)

### COMUNICACIONES MÓVILES POR SATÉLITE

(Manual del curso)  
Escuela Nacional de Telecomunicaciones.

### SISTEMA DE SATÉLITES SOLIDARIDAD

-LANZAMIENTO DEL SATÉLITE SOLIDARIDAD II-  
(Manual del curso)  
Escuela Nacional de Telecomunicaciones.

### SISTEMA DE COMUNICACIÓN SATELITAL DEL INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES NUCLEARES (ININ)

(Manual del curso)  
Adolfo Palma Maya.  
NEC de México, S. A. de C. V.

## Glosario de Términos

En el lenguaje cotidiano entre ingenieros de comunicaciones es usual el empleo de abreviaturas de términos para designar alguna técnica, equipo u organización. Como la mayoría de los textos están escritos en inglés, en muchos casos se emplean los términos tal cual y no se hace referencia a la traducción al idioma nativo.

A continuación se listan las abreviaturas más comunes y usadas en este documento, con su significado en el idioma de origen.

A/D	Analogue to Digital converter
AFC	Automatic Frequency Compensation
AI	Air Interface
AIU	Auxiliary Interface Unit
ANSI	American National Standards Institute
AWGN	Additive White Gaussian Noise
ARQ	Automatic Repeat Request
AZ	Azimuth
BB	Bulletin Board
BBP	Base Band Processor
BCS	Block Completed Sequence
BDD	Bit Differential Decoder
BDE	Bit Differential Encoder
BER	Bit Error Rate
BPSK	Binary Phase Shift Keying
BS	Base Station
BSS	Base Station Simulator
BW	Bandwidth
CAT	Channel Allocation Table
CCIR	Comité Consultatif Internationale de Radio
CCITT	Comité Consultatif Internationale de Téléphone et de Télégraph
CODEC	Voice Coder/Decoder
CPU	Central Processing Unit
CP	Control Processor
CTS	Clear To Send
CU	Channel Unit
CUG	Closed User Group

D/A	Digital to Analogue conversion
DAMA	Demand Assigned Multiple Access
DC	Dispatch Center
D/C	Down Converter
DDS	Digital Data Service
DEM	Demodulator
DIN	Digital Input
DMA	Direct Memory Access
DOT	Digital Output
DTMF	Dual Tone Multi-Frequency
ECC	Error Correction Code
EIRP	Effective Isotropic Radiated Power
EL	Elevation
EPROM	Erasable Programmable Read Only Memory
FAX	Facsimile
FDM	Frequency Division Multiplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FEC	Forward Error Correction
FEP	Front End Processor
FET	Field Effect Transistor
FIFO	First In First Out
FM	Frequency Modulation
FSK	Frequency Shift Keying
G/T	Gain-to-Noise temperature ratio
GW	Gate Way Station
HDLC	High-level Data Link Control protocol
HPA	High Power Amplifier
IB	INBOUND
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IF	Intermediate Frequency
I/O	Input/Output
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISO	International Standards Organization

<b>LAN</b>	<b>Local Area Network</b>
<b>LCA</b>	<b>Logical Channel Assignment</b>
<b>LED</b>	<b>Light Emitting Diode</b>
<b>LNA</b>	<b>Low Noise Amplifier</b>
<b>LNB</b>	<b>Low Noise Block downconverter</b>
<b>LNC</b>	<b>Low Noise Converter</b>
<b>MIU</b>	<b>Message Interface Unit</b>
<b>MMI</b>	<b>Man Machine Interface</b>
<b>MNE</b>	<b>Mobilesat Network Ethernet</b>
<b>MT</b>	<b>Mobile Terminal</b>
<b>MTBF</b>	<b>Mean Time Between Failure</b>
<b>MTR</b>	<b>Mean Time To Repair</b>
<b>MUX</b>	<b>Multiplex</b>
<b>OB</b>	<b>OUTBOUND</b>
<b>PABX</b>	<b>Private Automatic Branch Exchange</b>
<b>PC</b>	<b>Personal Computer</b>
<b>PCM</b>	<b>Pulse Code Modulation</b>
<b>PIO</b>	<b>Parallel Input/Output</b>
<b>PM</b>	<b>Phase Modulation</b>
<b>PNMSC</b>	<b>Primary Network Management Station Computer</b>
<b>PRA</b>	<b>Primary Rate Access, (an ISDN service at 2.048 Mbps)</b>
<b>PSDN</b>	<b>Public Switched Data Network</b>
<b>PSK</b>	<b>Phase Shift Keying</b>
<b>PSTN</b>	<b>Public Switched Telephone Network</b>
<b>QPSK</b>	<b>Quaternary Phase Shift Keying</b>
<b>RAM</b>	<b>Random Access Memory</b>
<b>RF</b>	<b>Radio Frequency</b>
<b>ROM</b>	<b>Read Only Memory</b>
<b>RP</b>	<b>Remote Processor</b>
<b>RPC</b>	<b>Remote Processor Concentrator</b>
<b>RPD</b>	<b>Remote Processor Distributor</b>
<b>RPS</b>	<b>Remote Processor Supervisory</b>
<b>RTS</b>	<b>Request To Send</b>
<b>Rx</b>	<b>Receive</b>

SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
SCPC	Single Channel Per Carrier
SIO	Serial Input/Output
S/N	Signal-to-Noise ratio
SNMSC	Secondary Network Management Station Computer
SSPA	Solid State Power Amplifier
SU	Signal Unit
TCP/IP	Transmit Control Protocol / Internet Protocol
TDM	Time Division Multiplex
TDMA	Time Division Multiple Access
TNMSC	Tertiary Network Management Station Computer
TWT	Traveling Wave Tube
TWTA	Traveling Wave Tube Amplifier
Tx	Transmit
U/C	Up Converter
UHF	Ultra High Frequency
UPS	Uninterruptible Power System
UW	Unique Word
VF	Voice Frame
VGA	Video Graphics Adapter
VHF	Very High Frequency