

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

## DISEÑO E INTEGRACION DE UNA RED DE ESTACIONES TERRENAS MOVILES PARA VOZ, DATOS Y TELEVISION DIGITAL

T E S I S

Que para obtener el título de  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
AREA DE COMUNICACIONES

p r e s e n t a n

Francisco Alvarez Ramírez  
Paul Merlan Cortés  
Jorge J. Ramírez Posada  
Héctor Romero Sánchez  
Enrique Sosa Rosas

283676



Director de Tesis: M. EN I. LAURO SANTIAGO CRUZ

Ciudad Universitaria, 2000



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

Todo el material contenido en esta tesis 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.

- Agradecimientos** A Dios por haberme permitido llegar a este día tan esperado.
- A mis Padres** Braulio (†) y Francisca, por haber sacrificado gran parte de su vida preocupándose por que estudiara y alentándome en los momentos difíciles de mi vida y vean así cumplidos parte de sus sueños y el mío propio.
- A mi Familia** Guadalupe, Priscila e Itzel, por su cariño, comprensión y apoyo.
- A mis Familiares** Mis abuelos: Braulio (†) y Paula , Ernestina .  
Mis Tíos: Nestor y Natalia, Javier y Susana, Gonzalo y Lourdes, Alberto y Teresa, Javier y Patricia, Carmela, José, Vicente y Cristina, Estela y José, Ciro y Carmela, Lilia.  
Mis Hermanos: Alma, Gabriel y Liliana.  
Mis Primos: Nestor y Alejandra, Miriam, Esmeralda, Susana, Leonardo y Leticia, Cesar, Javier, Ricardo, Nancy, Mauricio, Sandra, Alberto, Mariana, Patricia, Cesar, Leticia, José, Oscar, Julio, Liliana, Sandra, Bertha, Lilia, Gabriela, José.  
Mis Sobrinos: Karla, Milton, Alan, Perla, Daniel, Jocelin, Bryan, Laura Leticia, Sandra, Fernando, Carlos, Omar, Lenin, Erandy, Deny, Fabián, Rebeca, y Gabriela.
- Y a todos mis amigos, no quiero omitir ninguno.
- A CONTEL** A la gerencia del Telepuerto de Iztapalapa, al Lic. Alfredo Espino, Ing. Antonio Sotelo, Ignacio Campos, Belisario Franco, Ing. Carlos Anaya, Ing. Juan Dámaso, Ing. Jorge Pacheco, Ing. Teodoro Rivera, José Ávila, Mauricio Rivera, Pedro Anaya, Enrique Sosa, Víctor Andrés González, Ing. Raymundo Zepeda, Ing. José Luis Lamadrid, Carlos Rivas, Ing. Joel Islas, Juan Ibarra, Luis Santos, Gregorio Zepeda, David López de Nava, Susana Acosta, Ing. Bernardo González Fernando Flores, Arturo Peña, Jesús Galicia, José Rodríguez, Paciano Granados, Raúl Valderrama, Angel Pérez, Francisco García, Gregorio Ríos, Víctor Vazquez, Felipe Gómez, Fausto Ramos, Apolonio Nava, Octavio Bribiesca, así como a todas las secretarias de la gerencia y demás personal que ahí labora. Gracias por todo su apoyo y palabras de aliento.
- Y un agradecimiento especial al Lic. Alfredo Espino por su apoyo y oportunidades brindadas para la elaboración de este trabajo.
- A la Facultad de Ingeniería** Por permitirme concluir mi educación y formación profesional, junto a profesionales con amor a la camiseta.

Dedico el presente trabajo a la memoria de mi Padre.

**FRANCISCO**

**Agradezco a mis padres por todo el apoyo incondicional que me dan, sin el cual no sería lo que soy ahora.**

**Agradezco a mis hermanos por el afecto y cariño que me dan, porque sin esto los obstáculos y problemas son más grandes.**

**Agradezco a mi esposa por haberme motivado en el momento adecuado para seguir adelante y alcanzar este éxito.**

**Agradezco a todos mis amigos, porque con ellos todo lo difícil se hace más fácil.**

**Agradezco a Dios por darme la oportunidad de demostrar que lo que se quiere se alcanza por darme la fuerza de seguir adelante día con día, y le pido me permita alcanzar muchos éxitos más que deseo en mi vida.**

**Esta tesis se la dedico a mi hijo, que tiene 7 meses de vida y que ha llenado de felicidad mi corazón con todo mi amor para ti.**

**PAUL**

**A MI PADRE POR SU ATENCIÓN Y EJEMPLO INBORRABLE  
QUE SIEMPRE PERDURARA EN EL ENTENDIMIENTO.**

**A MI MADRE POR SU CARÍÑO Y COMPRENSIÓN.**

**A MIS HERMANOS POR SU HONESTIDAD Y UNIDAD.**

**RAMIREZ POSADA JORGE JAVIER**

GRACIAS A MI MADRE Y A MIS HERMANOS POR EL APOYO BRINDADO EN LA REALIZACIÓN DE MIS ESTUDIOS, AHORA QUE VEO CONCLUIDA MI CARRERA PROFESIONAL, SE QUE TODO SE LO DEBO A USTEDES, YA QUE TODA ESTA HERMOSA FAMILIA ESTUVO EN LAS BUENAS Y EN LAS MALAS CONMIGO.

ASÍ QUE QUIERO QUE ESTE GRAN LOGRO LO TOMEMOS COMO SI FUERA DE TODA LA FAMILIA, POR QUE SIN SU APOYO NO SE SI LO HUBIERA PODIDO LOGRAR.

GRACIAS TE DOY DIOS MIO, POR ESTE TRIUNFO PERSONAL Y FAMILIAR QUE ME PERMITISTE DAR A TI Y A TODAS LAS PERSONAS QUE ME APRECIAN Y ESTIMAN.

**HÉCTOR**

**A mis padres:** Enrique Sosa y Martha Rosas por haberme dado la vida y enseñarme que todo en la vida se logra con esfuerzo y dedicación.

**A mi esposa:** Carolina por su amor y comprensión, ya que siempre tubo confianza en mí para la realización de esta tesis

**A mis hijas:** Ariana, Irina y Miriam, ya que son el motivo para superarme día con día.

**A mis hermanos :** Manuel, Edith, Eduardo, Sergio y Diana por estar siempre a mi lado y creer en mí y por todos los momentos que hemos compartido juntos.

**A la facultad de Ingenieria:** Por haberme permitido realizar mis estudios en ella y adquirir una formación profesional.

**A TELECOMM:** Por darme la oportunidad de formar parte de su equipo de trabajo.

**A todos mis amigos:** por darme la oportunidad de aprender algo nuevo cada día.

**gracias**

**ENRIQUE**

## INDICE

### **1.- BOSQUEJO HISTORICO DE LAS COMUNICACIONES**

|   |   |
|---|---|
| 1.1 HISTORIA DE LAS COMUNICACIONES .....    | 1 |
| 1.2 RESEÑA HISTORICA DE LOS SATELITES ..... | 6 |
| 1.3 SISTEMA MEXICANO DE SATELITES .....     | 8 |

### **2.- CONCEPTOS TEORICOS EN TELECOMUNICACIONES**

|   |    |
|---|----|
| 2.1 PRINCIPALES PARAMETROS DE UNA SEÑAL DE VOZ .....        | 14 |
| 2.2 HISTORIA DE LA TELEVISION .....                         | 17 |
| 2.3 PRINCIPALES PARAMETROS DE UNA SEÑAL DE TELEVISION ..... | 23 |
| 2.4 TIPOS DE MODULACION .....                               | 32 |
| 2.5 CODIGOS .....   | 41 |
| 2.6 TRANSMISION DE DATOS .....                              | 46 |
| 2.7 TIPOS DE COMPRESION DE SEÑALES DIGITALES .....          | 53 |

### **3.- CONCEPTOS BASICOS DE COMUNICACION VIA SATELITE**

|  |    |
|--|----|
| 3.1 SEGMENTO TERRESTRE .....                 | 66 |
| 3.2 SEGMENTO ESPACIAL .....                  | 71 |
| 3.3 TECNOLOGIA BASICA DE LOS SATELITES ..... | 79 |
| 3.4 TECNICAS DE ACCESO AL SATELITE .....     | 89 |
| 3.5 PROTOCOLOS DE COMUNICACIONES .....       | 93 |

### **4.- DESCRIPCION DE UNA ESTACION TERRENA FIJA**

|  |     |
|--|-----|
| 4.1 ELEMENTOS QUE COMPONEN UNA ESTACION TERRENA FIJA ..... | 100 |
| 4.2 RADIOFRECUENCIA .....                                  | 108 |
| 4.3 CONFIGURACION DE UNA ESTACION TERRENA FIJA .....       | 114 |



**5.- DISEÑO DE UNA RED DE ESTACIONES TERRENAS MOVILES  
TRANSPORTABLES EN BANDA Ku**

5.1 FUNDAMENTOS TECNICOS Y CONSIDERACIONES PARA PLANEAR LA RED ... 121

5.2 ESTACIONES TERRENAS TRANSPORTABLES ..... 127

5.3 CONFIGURACION DE LA RED ..... 131

5.4 DESCRIPCION DE LA OPERACION DE LA ESTACION TERRENA MOVIL ..... 134

5.5 CALCULO DEL ENLACE SATELITAL PARA SEÑALES EN LA BANDA Ku ..... 143

5.6 CALCULO DEL ENLACE DE LA PORTADORA DE VOZ Y DATOS DE LA -  
ESTACION TERRENA MAESTRA ..... 144

5.7 CALCULO DEL ENLACE DE LAS PORTADORAS DE TELEVISION, VOZ Y DATOS  
DE LA ESTACION TERRENA MOVIL TRANSPORTABLE ..... 165

**6.- INTEGRACION DE UNA RED DE ESTACIONES TERRENAS MOVILES  
TRANSPORTABLES EN BANDA Ku**

6.1 PROVEEDORES COMERCIALES ..... 174

6.2 SUBSISTEMA DE CODIFICADORES DE VIDEO Y AUDIO ..... 175

6.3 SUBSISTEMA DE COMUNICACION ENTRE LAS ESTACIONES TERRENAS ..... 178

6.4 CONVERTIDORES DE FRECUENCIA (SUBIDA Y BAJADA) ..... 180

6.5 AMPLIFICADOR DE ALTA POTENCIA (HPA) ..... 181

6.6 AMPLIFICADORES DE BAJO NIVEL DE RUIDO LNA Y LNB ..... 182

6.7 SUBSISTEMA DECODIFICADOR DE VIDEO Y AUDIO ..... 183

6.8 SUBSISTEMA DE MEDICION Y MONITOREO ..... 184

6.9 SUBSISTEMA DE ENERGIA ..... 188

6.10 SUBSISTEMAS COMPLEMENTARIOS DE LA RED ..... 188

6.11 CONFIGURACION DE LA E/T MOVIL TRANSPORTABLE ..... 189

**RESULTADOS Y CONCLUSIONES ..... 192**

**BIBLIOGRAFIA ..... 194**

**APENDICES**

**A.- PROTOCOLO DE ACCESO A LOS SATELITES MEXICANOS ..... A - 1**

**B.- SERVICIOS ACTUALES DE LOS SATELITES MEXICANOS ..... B - 1**

**C.- TABLA DE CANALES DEL RECEPTOR IRD ..... C - 1**

## INTRODUCCION

Actualmente México cuenta con una amplia red de telecomunicaciones a nivel nacional, y existe la necesidad de comunicación en poblados distantes, ya que el tendido de cable a través de zonas de difícil acceso o la comunicación entre estaciones repetidoras sin enlace visual resultaría costoso e injustificable en los lugares donde no se cuenta con infraestructura suficiente, para tener un enlace de comunicación. En caso de desastres naturales u ocasionados, estos provocarían daños en los sistemas de comunicaciones, dejando aislada a la población, así también cuando se presentan eventos de relevancia internacional como es la visita de su Santidad Juan Pablo II o visita de mandatarios a nuestro país, dado que las noticias que impactan en el mundo se deben conocer al momento de que esta sucediendo, eficiente y confidencialmente. Muchos de los sistemas empleados en la actualidad trabajan con señales analógicas en la banda "C", y señales digitales en la banda "Ku", empresas que prestan estos servicios también tienen la necesidad de mantener a sus usuarios comunicados permanentemente y darle mantenimiento a sus equipos de comunicaciones u orientar sus antenas hacia otro satélite, como fue el caso reciente del satélite mexicano Solidaridad I, que tuvo problemas en su sistema de telemetría , quedando sin servicio los usuarios que utilizaban este satélite y fueron asignados a otro , ya que de la continuidad del servicio depende en gran parte su desarrollo económico.

Para cubrir estas necesidades se hace imprescindible contar con una red de estaciones terrenas móviles que sean capaces de trasladarse a lugares remotos y cubrir estos eventos en corto tiempo y de manera confiable, contando con equipo de comunicación de vanguardia y trabajando con señales digitales, las cuales ocupan un ancho de banda muy reducido en comparación con las señales analógicas, lo cual repercute en costos y un mejor aprovechamiento del ancho de banda satelital. Se requiere que estas estaciones terrenas móviles sean independientes, es decir que cuenten con equipos de comunicaciones, sistemas de energía y aire acondicionado propios.

En base a esto se pretende la integración de una red de estaciones terrenas móviles en banda "Ku", para la transmisión de señales de televisión digital, voz y datos.

# **CAPITULO 1**

## **BOSQUEJO HISTORICO DE LAS COMUNICACIONES**

Actualmente las comunicaciones en el mundo entero están teniendo un gran auge, ya que la necesidad de la información es tanta que de ésta dependen muchas de las actividades comerciales y de negocios, así como actividades socioculturales e informativas, que tienen un gran peso en la vida diaria de la sociedad. Esta necesidad se está cubriendo actualmente con los servicios y ventajas que nos proporcionan las comunicaciones vía satélite. Muchas empresas están aprovechando estos beneficios y por lo tanto están proliferando redes de datos, de telefonía y servicios de televisión por satélites geoestacionarios. Este primer capítulo tiene la finalidad de presentar a grandes rasgos la historia de las comunicaciones, haciendo énfasis en las comunicaciones vía satélite, finalmente se da una descripción de las comunicaciones vía satélite en nuestro país, hasta nuestros tiempos.

### **1.1 HISTORIA DE LAS COMUNICACIONES**

En 1832 en los Estados Unidos de América el pintor de retratos Samuel Finley Breese Morse concibió la idea de un telégrafo que operara a través de un circuito eléctrico para establecer una comunicación mediante un código. La idea no fue tan fácil y tuvo que elaborar varios y complicados esquemas para enviar un texto por un cable mediante una combinación de puntos y rayas. Finalmente creó un prototipo en funcionamiento en 1835, más tarde lo perfeccionó y lo patentó en 1838; en 1844 inauguró el servicio público entre Washington D.C. y Baltimore. Al inicio sólo enviaba números que debían ser decodificados por el receptor con la ayuda de un libro de códigos y así según el número, encontraba la palabra transmitida. Después utilizó el código de puntos y rayas para transmitir el texto letra a letra, creando de esta manera el código Morse.

El dispositivo de Morse no hubiera sido posible sin el empleo del electroimán, que consiste de una bobina conductora enrollada alrededor de un metal de hierro dulce; al hacer circular una corriente eléctrica éste adquiere propiedades muy parecidas a las de un imán permanente, atrayendo materiales ferromagnéticos hacia uno de sus extremos.

En el dispositivo original de Morse un operador movía una manivela con el objeto de cerrar un contacto eléctrico llamado pulsador, el cierre del contacto provocaba la circulación de corriente a través del electroimán. La circulación de corriente en el electroimán empujaba hacia abajo una pluma que escribía los puntos y rayas transmitidos. Este dispositivo tuvo mejoras pero el principio de operación se conservó.

Para 1874 el estudiante de fonética y profesor de fisiología vocal en la Universidad de Boston, Alexander Graham Bell, concibe la idea de enviar ondas sonoras de la voz por medio de corrientes eléctricas y dedicó los siguientes años a desarrollar el teléfono que fue patentado en 1876. La idea se inició del fenómeno que se genera de una onda sonora producida en el aire por el acto de hablar. Otro fenómeno que atrajo la atención se producía cuando una piedra se tira sobre un estanque, las ondulaciones que se producen viajan hacia el exterior formando círculos; sin embargo, el agua no viaja, no se mueve en la dirección en que se propagan las ondas; lo que sí se propaga es la perturbación vertical que se produce en el agua; en una onda la perturbación se transmite continuamente de un punto al siguiente, en el agua lo hace de un punto a otro. A medida que la onda viaja, la altura del agua fluctúa en el tiempo de una forma suave en forma ondulatoria no de una forma abrupta.

En el teléfono el transductor que se encuentra en el transmisor debe generar una corriente ondulatoria que varía rápidamente; no es sólo la presencia de la corriente o ausencia de ésta la que debe transmitirse; el lado receptor debe de responder a dichas variaciones de corriente y producir una onda de presión sonora de variación suave.

Un transductor es un dispositivo que permite transformar variaciones de una magnitud física, en este caso la presión sonora producida por la voz, a otra magnitud física con variación equivalente, siendo este último la corriente ondulatoria. El receptor y transmisor de Bell es un dispositivo de este tipo,

su funcionamiento se basa en dos de los principios de la electricidad y el magnetismo, el primero de ellos dice que una variación del flujo de campo magnético que atraviesa una bobina conductora induce una fuerza electromotriz o voltaje en sus extremos; en el segundo, si se hace circular una corriente por una bobina, la magnitud de ésta determina la intensidad de campo magnético y por tanto la fuerza que éste ejerce sobre los cuerpos ferromagnéticos.

Cuando hablamos por teléfono, se genera una onda sonora, que es producida cuando hablamos ante el transmisor, éste contiene al transductor acústico-eléctrico que convierte las fluctuaciones de presión de la onda sonora en una señal eléctrica, cuya tensión se corresponde con la presión que la ha originado. La onda eléctrica de tensión y corriente viaja por los cables hasta alcanzar el receptor que contiene al transductor eléctrico-acústico, llevando a cabo el proceso inverso, es decir, convierte la señal eléctrica en señal sonora.

En los inicios de la telefonía se sacrificaba la calidad del sonido en beneficio de la potencia con la finalidad de alcanzar mayores distancias. Con el tiempo se dispuso de dispositivos transductores de alta calidad haciendo más inteligible la información transmitida.

Cuando se lograron comunicar las ciudades de Boston y Chicago, mediante un enlace telefónico, fue necesario tender un par de cables de cobre para transmitir una única conversación, esto resultaba demasiado costoso y aún más si se querían alcanzar mayores distancias. Mediante una técnica llamada "multiplexado" fue posible compartir el medio y transmitir varias conversaciones simultáneamente. En la actualidad existen diferentes formas de transmisión múltiplex; para esto la señal debe ser tratada antes de transmitirla, este proceso se llama "modulación", con lo cual se logra trasladar la señal desde su margen de frecuencias en la banda base hacia un margen de frecuencia superior, sin alterar su amplitud ni su fase, e impide que se mezclen las señales en el medio.

Generalmente ningún sistema de comunicaciones transmite la señal en su banda base por diversas razones. Si intentamos transmitir una señal en su banda base, agotaríamos el margen de frecuencias y no podríamos transmitir ninguna otra señal en banda base; además la potencia con la cual se transmitiría debería ser grande a fin de alcanzar el punto extremo; dado que el medio por el cual

viaja la señal cuenta con una resistencia al paso de la corriente que provoca la degradación de la señal.

Por otra parte, en radiocomunicaciones la longitud de onda de una señal de radio es igual a la velocidad de la luz dividida por la frecuencia y dado que la señal en banda base está formada por frecuencias bajas, y tiene por tanto longitudes de onda largas, esto llevaría al diseño de una antena muy grande, algo demasiado impráctico.

En 1865 se presenta un documento publicado por Maxwell, en donde predice una nueva forma de onda, una onda electromagnética compuesta por campos eléctricos y magnéticos que varían rápidamente y viajan a la velocidad de la luz. Estas ecuaciones nos dicen que la variación de un campo eléctrico produce un campo magnético y que la variación de un campo magnético produce un campo eléctrico. También nos indican que los patrones de variación de los campos eléctricos y magnéticos pueden propagarse juntos en un proceso sin fin, en forma de onda electromagnética; siendo su velocidad dependiente del medio a través del cual se propagan, así como la forma de variación de los campos electromagnéticos. Pronto se dieron a la tarea de comprobarlas y demostraron que éstas podían ser reflejadas, refractadas y enfocadas, al igual que las ondas luminosas. Estas ecuaciones pusieron en claro muchos de los fenómenos que ocurrían en las líneas telegráficas y telefónicas. En sus trabajos Maxwell explica por que las primeras telecomunicaciones no podían enviar de forma rápida las señales a largas distancias. Los ingenieros que diseñaban las líneas telegráficas asumían que la corriente era la misma a lo largo de toda la línea; así como la tensión entre conductor y tierra o entre dos conductores se mantenía constante a lo largo de éstas, pero las ecuaciones indican que esto es previsible siempre y cuando se cumplan dos requisitos: la resistencia de la línea ha de ser baja, y la longitud de la línea debe ser pequeña, en comparación con la longitud de la onda. Otro de los problemas que se deduce de las ecuaciones es la resistencia de los conductores que provocaba lentitud en la transmisión de las señales, es decir, no aparece la corriente eléctrica en el extremo de la línea de transmisión hasta que no se ha acumulado suficiente carga a lo largo de la línea, siendo la acumulación lenta a causa de la resistencia del conductor provocando retardos considerables cuando las distancias son grandes.

De acuerdo con las ecuaciones de Maxwell las ondas electromagnéticas sinusoidales tienen una velocidad que se puede medir en m/s y cuando viajan a través de un medio sufren una atenuación que se puede medir en dB/m. Siendo la atenuación y velocidad dependientes de la frecuencia de la onda. Si enviamos un pulso a través de una línea muy larga, dado que el pulso tiene muchos componentes frecuenciales y debido a la resistencia del cable los componentes frecuenciales viajan a distintas velocidades provocando que lleguen en distintos tiempos y atenuados.

El físico alemán Hertz comprobó que cuando en un conductor o una espira conductora la corriente oscilase invirtiendo periódicamente su flujo, esto originaría una onda electromagnética. La corriente oscilante crearía un campo electromagnético variable y ambos campos eléctrico y magnético al variar producirían una onda electromagnética. La onda electromagnética sería radiada y captada eficientemente si la espira o conductor fueran resonantes, de manera que una corriente, una vez provocada, oscilará alternativamente de forma natural similar a un péndulo; este dispositivo de Hertz fue el transmisor de "bobina de chispa".

El dispositivo de Hertz mostraba el principio de operación de una antena y fue utilizado por Guillermo Marconi para establecer la primera comunicación inalámbrica al otro lado del Atlántico en 1900, lo que favoreció al desarrollo de la radio y la televisión.

En 1907 Lee De Forest inventó el tubo al vacío. Posteriormente se inventó el transistor lo que provocó aún más el desarrollo de la radio, la televisión, la telefonía de larga distancia y los complicados dispositivos electrónicos, incluidos la computadora, teniendo muchas ventajas, éstos últimos, en comparación con el tubo al vacío, como son: usan menos potencia, cuestan menos, son más pequeños y tienen una vida casi ilimitada.

En la actualidad el empleo de la física cuántica de estado sólido ha permitido desarrollar la microelectrónica a pasos agigantados, a tal grado que todos estos acontecimientos han permitido al hombre lanzar al espacio satélites artificiales, naves para viajar al espacio y crear la red más grande del mundo "Internet", por lo que el próximo siglo se considera como la era de las comunicaciones.



## 1.2 RESEÑA HISTORICA DE LOS SATELITES

Las comunicaciones involucran la transferencia de información entre la fuente y el o los usuarios. Existe una gran diversidad de medios por los que dicha transferencia puede efectuarse, ya sea por un par de cables, cables coaxiales, fibra óptica o guías de onda, las cuales tienen en común las características de requerir de un medio físico entre los puntos terminales ó medios de transmisión inalámbricos, como las estaciones de microondas o estaciones terrenas para comunicaciones vía satélite. Las comunicaciones satelitales modernas se originan en la idea de Arthur C. Clarke de instalar repetidores de microondas en satélites geosíncronos para dar una cobertura de comunicaciones a nivel mundial.

A finales de los años cincuenta, Estados Unidos y la Unión Soviética comenzaron el desarrollo de los satélites y de los vehículos de lanzamiento necesarios para colocarlos en órbita. De esta manera, el 4 de octubre de 1957 la URSS logró lanzar al espacio el satélite SPUTNIK I. El objetivo de este primer satélite era determinar los parámetros de las capas superiores de la atmósfera y de la ionosfera. Su forma era esférica y su órbita elíptica. Este artefacto era capaz de lograr 15 revoluciones completas alrededor de la tierra en tan solo 24 horas, a una velocidad aproximada de 8 km/s. Como cuerpo espacial dio un total de 1,400 vueltas alrededor de nuestro planeta en 92 días.

Para no quedarse al margen de esta aventura espacial, Estados Unidos de América lanzó el satélite *Explorer* en enero de 1958 y, poco tiempo después en diciembre de ese mismo año, puso en órbita el primer satélite de comunicación activo del mundo, el *Score*, para servicios de la Fuerza Armada de ese país.

Después de varios años de investigación, el reto era incrementar la altura de los satélites aproximadamente a 36,000 km de la tierra, donde el período de rotación alrededor de nuestro planeta fuera de 24 horas. Así, cuando el satélite se localizará sobre el plano del Ecuador, su rotación sería geosíncrona, es decir, a la par de la tierra. El primer satélite geoestacionario fue el *Syncomm II*, lanzado en 1963, el cual transmitió señales de televisión durante los juegos olímpicos de Tokio, en 1964.

Las comunicaciones comerciales por satélite comenzaron oficialmente en 1965, cuando se lanzó el famoso INTELSAT I, también conocido como "Pájaro Madrugador". Tenía una capacidad equivalente a 240 canales de voz o uno de televisión, y proporcionaba servicios entre Europa y Norteamérica, únicamente.

### **Satélites internacionales**

Dentro del ámbito de los grandes consorcios internacionales mucho se puede hablar pues son en éstos donde la gran mayoría de las innovaciones tecnológicas en satélites y comunicaciones tienen lugar, y son también estos consorcios quienes más usuarios reúnen a lo largo del mundo entero. Básicamente se puede hablar de tres grandes consorcios internacionales: INTELSAT, INTERSPUTNIK e INMARSAT.

#### **- Sistema de comunicaciones globales vía satélite INTELSAT**

El 20 de agosto de 1964, 11 países formaron una carta constitutiva dando origen a la Organización Internacional de Telecomunicaciones Vía Satélite (INTELSAT), la primera red de telecomunicaciones vía satélite mundial. INTELSAT inició ofreciendo servicios trasatlánticos en 1965 después del exitoso lanzamiento del INTELSAT 1 (Early Bird), el primer satélite geoestacionario del mundo. Actualmente, la cuarta y quinta generación de pájaros INTELSAT y servicios de comunicaciones domésticas reúne a más de 112 naciones-miembro.

#### **- Sistema de satélites INTERSPUTNIK y estaciones soviéticas**

INTERSPUTNIK es una cooperativa de satélites internacional formada en noviembre de 1971 cuando 8 naciones firmaron el acuerdo de establecimiento de la organización. Ahora pertenecen a esta agrupación más de 14 naciones-miembro.

#### **- Sistema de satélites marítimos INMARSAT**

La Organización Internacional de Satélites Marítimos (INMARSAT), es el único sistema de satélites de comunicaciones móviles vía satélite no militar en todo el mundo. INMARSAT provee transmisión de teléfono, telex, datos, facsímil, servicios de salvamento y desastres a embarcaciones y comunidades costeras lejanas. INMARSAT fue establecido en 1979 como una consecuencia de lo

convenido en la conferencia de 1975 por las principales naciones marítimas y cuyo objetivo es el de utilizar los satélites en los enlaces con embarcaciones en cualquier parte de los océanos.

### 1.3 SISTEMA DE SATELITES MEXICANOS

Desde 1967, México es parte del Consorcio Internacional de Telecomunicaciones por satélite INTELSAT, que tiene como objetivo la explotación sobre una base comercial de satélites dedicados al servicio internacional público de telecomunicaciones.

México se inicia en las comunicaciones espaciales por medio de la estación terrena Tulancingo, Hgo., que comenzó a funcionar en octubre de 1968, con la transmisión de los XIX juegos Olímpicos, celebrados en la ciudad de México. Actualmente, a través de ella se reciben y transmiten programas de televisión, señales de telegrafía, telefonía y datos, entre México y otros países de América, Europa, Africa y el Medio Oriente.

#### Sistema de Satélites MORELOS

En 1981 se iniciaron los estudios técnico-económicos para que México pudiera contar con satélites de comunicación propios. El proyecto culmina con la puesta en órbita del primer sistema de satélites MORELOS, compuesto por dos satélites de los denominados de uso doméstico, a los cuales se les llamó MORELOS I (MOR-I) y MORELOS II (MOR-II), ubicados en la órbita geosíncrona a 113.0 y 116.5 grados longitud oeste y a una altura de 35,680 kms. sobre el ecuador.

Los satélites MOR- I y MOR- II fueron programados por la NASA (Administración Nacional Aeronáutica y del Espacio ,Organismo norteamericano dedicado a las actividades espaciales y aeronáuticas) para ser lanzados al espacio desde Cabo Kennedy Florida, en el programa de vuelo G-51 y 61-B de los transbordadores espaciales Discovery y Atlantis respectivamente. El lanzamiento del MOR-I se realizó el 17 de junio de 1985, mientras que el del MOR-II se llevó a cabo el 26 de noviembre del mismo año. El MOR-II, por haber sido concebido como un satélite de respaldo del MOR-I, pero con posibilidades de operar servicios sujetos a interrupción, se ubicó en una *órbita de almacenamiento* (órbita inclinada con respecto al ecuador en la que se coloca al satélite para no

usarse durante algún tiempo), en la cual estuvo por espacio de cuatro años aproximadamente. A lo largo de este período se desplazó en forma natural hacia su posición definitiva en 116.8 grados longitud oeste, a la que arribó en 1989.

Los satélites MORELOS constan de 22 *transpondedores* (repetidores de satélite), 18 en banda C y 4 en banda Ku. La banda C se utilizó para la conducción de señales de radio, televisión y telefonía de tipo analógico y para redes públicas y privadas digitales, mientras que la banda Ku se utilizó para redes públicas digitales de voz, datos y video, servicios empresariales y redes privadas digitales.

Después de 9 años de prestar servicios, el MOR-I concluyó su vida útil el primer trimestre de 1994, mientras que el MOR-II finalizó en el segundo trimestre de 1998, puesto que inició sus operaciones en 1989.

### **Sistema de Satélites SOLIDARIDAD**

A fin de ofrecer una respuesta a la creciente demanda de servicios requeridos por los usuarios y efectuar el reemplazo del satélite MOR-I, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes a través de Telecomunicaciones de México, se dedicó a la tarea de planear y ejecutar un proyecto que solventara las necesidades de la comunicación nacional, tanto presentes como futuras, garantizando con el mismo, la continuidad de los servicios y ofreciéndolos ya no sólo a nivel nacional sino regional, lo cual dio origen al programa de satélites SOLIDARIDAD.

El contrato de los satélites SOLIDARIDAD se firmó en mayo de 1991. En octubre de 1993 es colocado en órbita el satélite SOLIDARIDAD I (SOL-I) y en octubre de 1994 el satélite SOLIDARIDAD II (SOL-II).

El sistema de satélites SOLIDARIDAD representa la segunda generación de comunicaciones espaciales para México. En forma similar a los satélites MORELOS, cada uno de los SOLIDARIDAD cuenta con 18 transpondedores en banda C, pero con mucho mayor potencia que los primeros, y una cobertura mayor en distintas áreas geográficas como se puede apreciar en la figura 1.1, gracias a la tecnología de amplificadores de estado sólido empleados en su construcción.

Asimismo, dentro de la carga útil se cuenta con 16 transpondedores de banda Ku , las zonas de cobertura se pueden ver en la figura 1.2, equivalente a cuatro veces la capacidad que se tenía en los MORELOS. Adicionalmente existe un sistema de transmisión en banda L, en la figura 1.3 se aprecia la zona de cobertura de esta banda, que permite dar servicios de comunicación móvil a todo el país, incluyendo sus costas y mar territorial.

La banda L permite enlaces de comunicación entre unidades móviles de transporte terrestre y marítimo, y sus respectivas bases. Es una excelente alternativa para servicios de telefonía y seguridad pública.

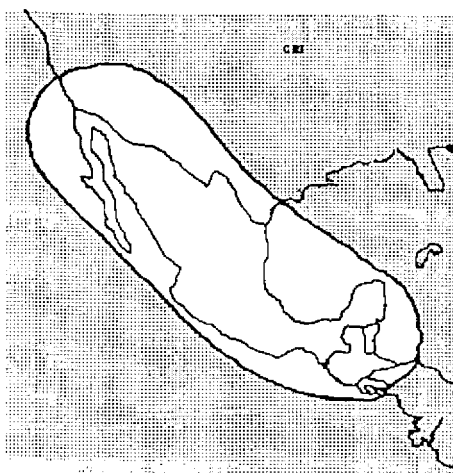
Todas las bandas cubren a la República Mexicana, además de las extensiones en banda Ku para coberturas en la frontera sur de los Estados Unidos, la costa Este y las ciudades de San Francisco y los Angeles. La cobertura en banda C se extiende hacia el Caribe, Centro y Sudamérica.

El centro de control y operaciones para los satélites SOLIDARIDAD se encuentra ubicado en Iztapalapa, México. Cuenta con todos los sistemas electrónicos necesarios para mantener en sana operación esta flota de satélites. Asimismo y con el propósito de garantizar una gran confiabilidad en el servicio, se cuenta con un centro de control alternativo en la ciudad de Hermosillo, Sonora, en la parte noreste del país. Hughes Space & Communications, contribuyó a la integración de este centro. En el diseño, construcción y puesta en marcha de todo el sistema participaron más de una docena de técnicos mexicanos y estudiantes de ingeniería, quienes recibieron capacitación al más alto nivel.

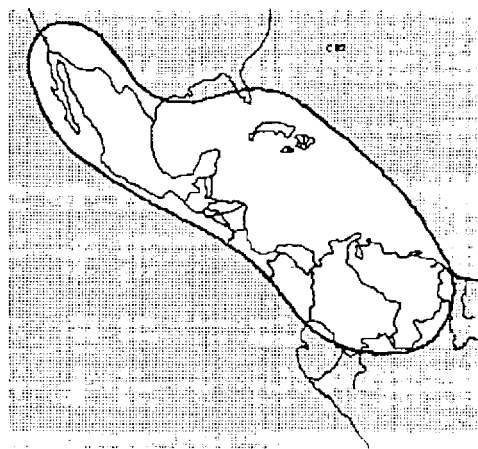
En 1997 se lleva a cabo la privatización de los satélites mexicanos. La empresa Satélites Mexicanos (SATMEX) junto con Loral Space & Communications, adquiere la concesión de los satélites MOR-II, SOL-I Y SOL-II

#### **Sistema de satélite SATMEX 5**

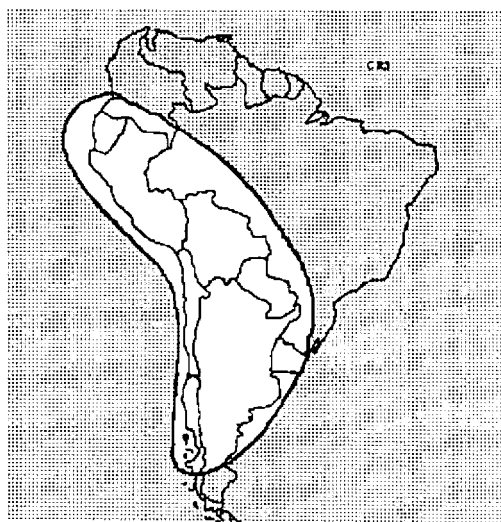
Con el fin de operación del satélite MOR-II a finales de 1998 la empresa SATMEX puso en órbita a finales del mismo año la tercera generación de satélites mexicanos denominado SATMEX 5 (SAT-5) que pasa a ocupar la posición del satélite MOR-II. El satélite SAT-5 ocupa actualmente la posición 116.8 grados longitud oeste, la posición que ocupaba el satélite MOR-II.



a) Región 1

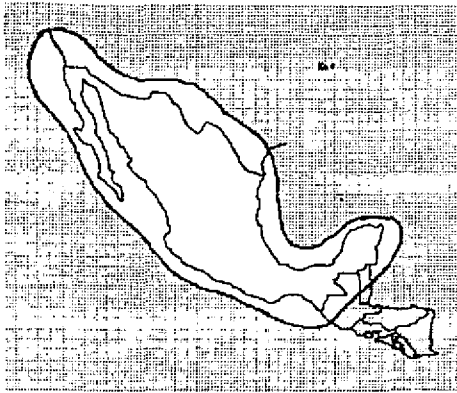


b) Región 2

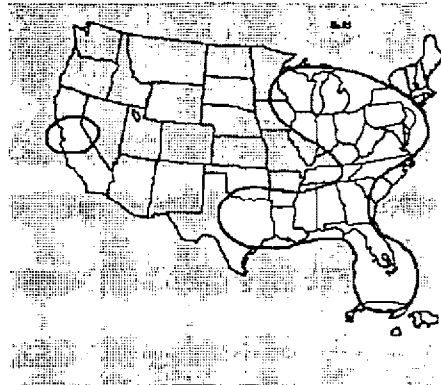


c) Región 3

Figura 1.1. Zonas de cobertura de los satélites SOLIDARIDAD en la banda C, a) Región 1, b) Región 2, c) Región 3.

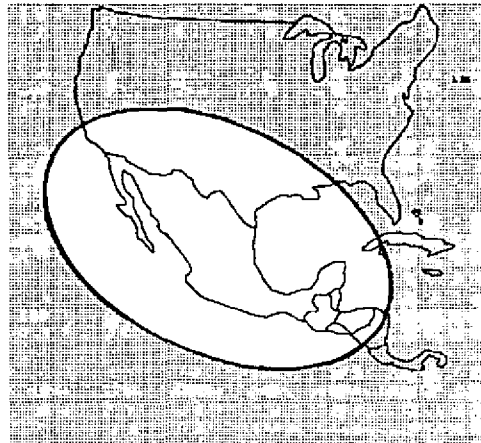


a) Región 4



b) Región 5

Figura 1.2. Zonas de cobertura de los satélites SOLIDARIDAD en la banda Ku, a) Región 4, b) Región 5.



a) Región 6

Figura 1.3. Zonas de cobertura de los satélites SOLIDARIDAD en la banda L, Región 6.

El SAT-5 fue fabricado por Hughes Space & Communications, en California EUA, lugar en donde se construyeron la primera y segunda generación de satélites mexicanos. En los trabajos de diseño e integración de este satélite participaron ingenieros mexicanos. La vida útil esperada de SAT-5 es de 15 años y fue puesto en órbita por un cohete de Arianespace. SATMEX opera este satélite desde su centro primario en Iztapalapa, México, y cuenta con un centro de control alternativo en Hermosillo, con lo que se garantizará la confiabilidad del sistema, de la misma forma en que se hizo para los satélites SOLIDARIDAD.

El satélite SAT-5 cuenta con 24 transpondedores para la banda C y 24 transpondedores para la banda Ku, cada uno de 36 MHz de ancho de banda.

#### **- Beneficios de SATMEX 5**

El nuevo satélite Satmex 5 lleva a México a una auténtica globalización de los servicios satelitales, ya que cuenta con cobertura continental en todos sus canales, una potencia diez veces superior a los anteriores satélites MORELOS, tres veces superior a los SOLIDARIDAD y la tecnología satelital más avanzada, que le permitirá tener una vida útil superior a los 15 años.

Para los usuarios de servicios ocasionales, SAT-5 en su banda Ku ofrece la posibilidad de utilizar equipos digitales portátiles, que reducen considerablemente los costos de operación y hacen más flexible y dinámico el despliegue de sus equipos de noticias y eventos especiales.

Históricamente y por razones fundamentalmente económicas, las estaciones receptoras de banda C han sido las preferidas por las cadenas de TV comercial y los operadores de TV por cable, tanto en Latinoamérica como EEUU y Canadá. La cobertura continental de la banda C del SAT-5, propicia el crecimiento de la distribución de la televisión por cable y la educación a distancia a costos más competitivos.

En el siguiente capítulo se abordarán las técnicas de transmisión de señales, así como compresión de las mismas, pasando entonces a las técnicas de modulación y principales parámetros de una señal de televisión.



## **CAPITULO 2**

### **CONCEPTOS TEORICOS EN COMUNICACIONES**

En el campo de las comunicaciones es indispensable contar con técnicas de transmisión de señales diferentes para enviar o recibir información a través de diversos canales de comunicación, de una manera segura y confiable. En este capítulo se abordarán temas sobre las características de una señal de voz y televisión así como los diferentes tipos de compresión de las mismas, hablaremos también de los tipos de modulación más empleados, la transmisión de datos y la compresión de señales.

#### **2.1 PRINCIPALES PARAMETROS DE UNA SEÑAL DE VOZ**

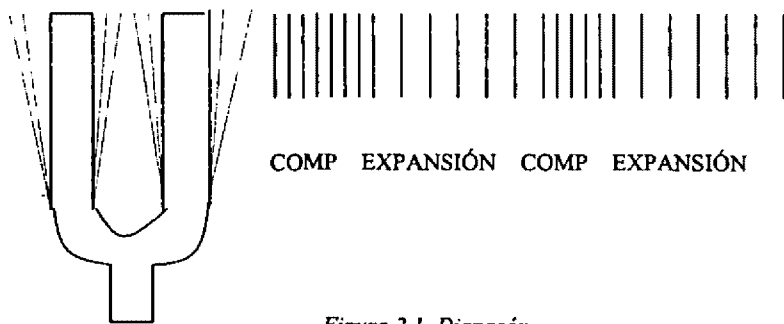
La energía puede propagarse a través del espacio y de la materia por medio de vibraciones. El sonido, la luz, las ondas de radio, etc., esto es, se comportan como movimientos ondulatorios.

El movimiento ondulatorio se considera como un movimiento periódicamente repetitivo con respecto a la unidad de tiempo.

El sonido es el fenómeno producido por la vibración de un cuerpo y se propaga a través de un medio elástico como sería el aire, el agua, los metales, etc., pero no se propaga en el vacío; es el fenómeno físico que percibimos con el sentido del oído y es el resultado de tres fenómenos sucesivos:

- a) Su producción. Por el movimiento vibratorio de un cuerpo sonoro.
- b) Su transmisión. Por un medio elástico.
- c) Su recepción. Por el oído.

Todo sonido es producido por el movimiento vibratorio de un cuerpo. Una fuente típica de sonido es el de “diapasón”, que consiste en una pequeña barra de acero en forma de horquilla. Si se golpea uno de los extremos del diapasón, como se muestra en la figura 2.1, éste entra en vibración y emite un sonido característico. En el movimiento hacia adentro del diapasón se origina una expansión o sea una rarefacción del aire; inmediatamente le sigue un movimiento hacia afuera durante el cual se origina una compresión del aire. Entonces se forman zonas de compresión y de expansión, que se desplazan en dirección opuesta a la fuente. A éstas se les denomina “ondas sonoras” por la semejanza que tienen con las ondas que se forman en la superficie de un líquido.



*Figura 2.1. Diapasón.*

El sonido se propaga con movimiento uniforme a través de medios elásticos y su velocidad depende de la densidad del medio, a mayor densidad mayor velocidad del sonido.

Como los gases son menos densos que los líquidos, y éstos a su vez menos densos que los sólidos, la velocidad de propagación de un sonido es mayor en los sólidos que en los líquidos y al mismo tiempo, ésta es mayor, que en un medio gaseoso.

Las características fundamentales del sonido son tres:

- a) Amplitud o intensidad (fuertes, débiles).
- b) Frecuencia o tono (graves, agudos).
- c) Forma o timbre.

- *La intensidad* es la energía que posee el sonido, o sea su fuerza. Por su intensidad los sonidos se dividen en sonidos fuertes o sonidos débiles según la fuerza con que impresionen nuestro oído.
- *Tono* es la característica por la cual los sonidos nos parecen graves o agudos; esto depende del número de vibraciones por segundo, o sea la frecuencia. Los sonidos se dividen, por su tono, en bajos o graves si son de baja frecuencia y en altos o agudos si son de alta frecuencia.
- *Timbre* es la característica que distingue dos sonidos de igual intensidad y del mismo tono generados por dos fuentes sonoras distintas. Esta diferencia depende del hecho de que un sonido producido por una fuente sonora está constituido por una suma de varios sonidos, uno llamado "fundamental" y otros que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental y son llamados "armónicas".

*La longitud de onda* ( $\lambda$ ) de una onda de sonido, es la distancia desde el punto donde comienza la onda hasta donde comienza la siguiente onda.

*La frecuencia* de una onda de sonido está definida como el número de ondas repetidas por unidad de tiempo, y es medida en ciclos por segundo o hertz (**Hz**).

Por el rango de frecuencia, se percibe el sonido agudo y el sonido grave, y por la amplitud e intensidad se siente la magnitud del sonido.

El oído humano solamente puede escuchar sonidos comprendidos entre 20 y 20,000 Hz, y éste se denomina "El rango de frecuencia audible". Los sonidos por debajo de los límites se les conoce como infrasonidos; y arriba del límite se les llama ultrasonidos.

En cualquier punto del espacio lleno de aire, delante de una persona que habla, podemos comprobar la existencia de las ondas sonoras de la voz sin utilizar el oído, ya que éstas se manifiestan como variaciones de la presión atmosférica en el espacio. Las variaciones de la presión pueden comprobarse mediante una membrana colocada en ángulo recto contra el sentido de propagación del sonido. La membrana se encorvará entonces bajo la influencia de las variaciones de la presión, a un

lado u otro, transformándose la energía acústica en mecánica y con dispositivos adecuados, puede comprobarse que estos movimientos corresponden a las amplitudes y frecuencias de la palabra.

### **Características de la voz**

Cuando hablamos, se origina por medio de una colaboración íntima entre los pulmones, las cuerdas vocales y la cavidad bucal una serie de ondas sonoras que se propagan a través del espacio lleno de aire que nos rodea, hasta llegar al tímpano, quien al también vibrar, decodifica las variaciones convirtiéndolas en impulsos electrónicos que viajan hacia el cerebro.

En telefonía se calcula que una reproducción aceptable de la voz se obtiene con una banda de 300 a 3400 Hz, lo cual significa que estas frecuencias son las más importantes para entender el habla.

La señal de audio consiste en las señales eléctricas que corresponden ya transformadas al sonido que se esté considerando (esto a través de un transductor).

Las características de cualquier dispositivo que maneje la señal de audio, deberá de manejar todos los parámetros de dicha señal en forma transparente, esto es sin distorsión alguna; y a esto se le conoce como un dispositivo de alta fidelidad.

## **2.2 HISTORIA DE LA TELEVISION**

Televisión significa, visión a distancia, por medio de este aparato disfrutamos escenas en un lugar y momento diferentes al que ocurren, por lo que su nombre describe su función.

A continuación presentaremos una cronología de los sucesos más importantes en la historia de la televisión.

El primer artefacto televisivo que conoció el hombre fue construido por el sabio italiano Galileo Galilei en 1609 y lo conocemos con el nombre de antejojo.

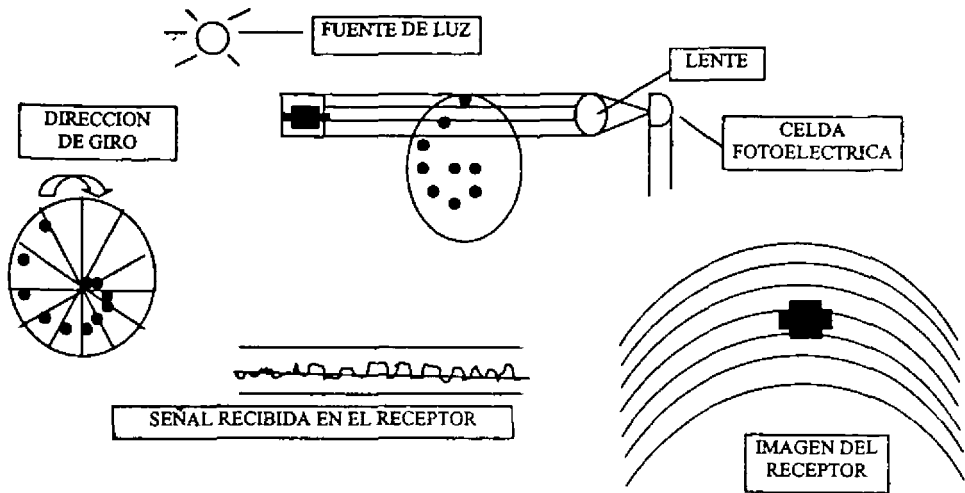
La electricidad ha hecho posible el surgimiento de la electrónica. En 1785 Coulomb y Cavendish establecieron las leyes de atracción y repulsión de los cuerpos electrizados.

En 1819 Oersted, descubrió el electromagnetismo: Interacción entre los campos magnéticos y la corriente eléctrica.

El telégrafo apareció en 1844 con los trabajos de Morse, en 1873 Un telegrafista de Irlanda, apellidado May observó que las agujas de los instrumentos de medición oscilaban violentamente al pasar frente a su estación telegráfica, después de minuciosas observaciones se dio cuenta que esto ocurría al encontrarse entre la luz solar y las resistencias del equipo teleográfico que estaban fabricados con selenio, metal descubierto por Berzelius en 1817. Posteriormente estos experimentos nos dieron lo que conocemos con el nombre de fotoelectricidad, que es el resultado del desprendimiento de electrones al incidir luz en ciertos materiales. La cantidad de electrones desprendida es proporcional a la intensidad de luz incidente.

Se comparó el comportamiento de este metal con el funcionamiento del ojo humano. Al incidir la luz reflejada por los objetos que nos rodean sobre la retina (Superficie formada por diminutos conos y bastoncitos), se tiene la impresión de la vista al transmitir el nervio óptico los estímulos provocados por la luz hacia el cerebro. Aprovechando esto C. R. Carey y Willoughby Smith, en 1875 fabricaron complicados aparatos que consistían de un mosaico de selenio (a modo de retina) y un mosaico de lámparas incandescentes entrelazadas por medio de conductores (a manera de nervio óptico), que reproducían imágenes fijas por medios ópticos.

En 1884 Paul Nipkow físico alemán, desarrollo el primer sistema de televisión mecánico como se puede apreciar en la figura 2.2, que consiste de un disco plano con pequeños orificios que formaban una espiral, partiendo del centro del disco; de este modo al girar el disco ante una imagen un observador situado al otro lado la veía a través de los orificios, la imagen aparecía descompuesta en sucesivas franjas horizontales.



*Figura 2.2. Analizador mecánico de Nipkow.*

Este dispositivo mecánico se colocaba entre la imagen y un elemento de selenio eléctricamente sensible a la luz, de modo tal que éste recibiera una iluminación variable, de acuerdo con las tonalidades diferentes de los puntos de imagen descompuesta en líneas horizontales por el disco giratorio. El selenio transformaba la diferente luminosidad recibida en una corriente eléctrica de intensidad fluctuante que era transmitida al receptor.

El receptor contaba con una fuente luminosa por la corriente fluctuante del transmisor, y con un disco perforado en la misma forma que el transmisor al que se hacía girar sincronizado con el del aparato emisor. El espectador se sentaba ante el disco y en sus ojos se formaba (debido a la persistencia de la retina) la imagen borrosa e imprecisa de lo que se transmitía.

El disco que presentó Nipkow en 1884 descomponía la imagen en 60 líneas horizontales a una velocidad de 20 imágenes por segundo, suficiente para permitir la sensación de continuidad. No obstante, el número de líneas era muy baja para reproducir con nitidez y detalle las imágenes.

Aunque estos sistemas mecánicos tenían sus fallas y eran imperfectos sus resultados dieron las bases de la televisión moderna: La descomposición de imágenes en un gran número de "puntos de luz".

Tal como ocurre en el mosaico de células de nuestro ojo ( Conos y Bastoncitos), y en las emulsiones que se emplean en fotografía, las que al examinarlas con una lupa, permiten apreciar este mosaico de puntos de diferente tono.

Resulta claro que cuanto mayor sea el número de puntos en los que se descompone una imagen, más detallada y precisa resultará. El sistema de Nipkow no era muy exigente en este aspecto.

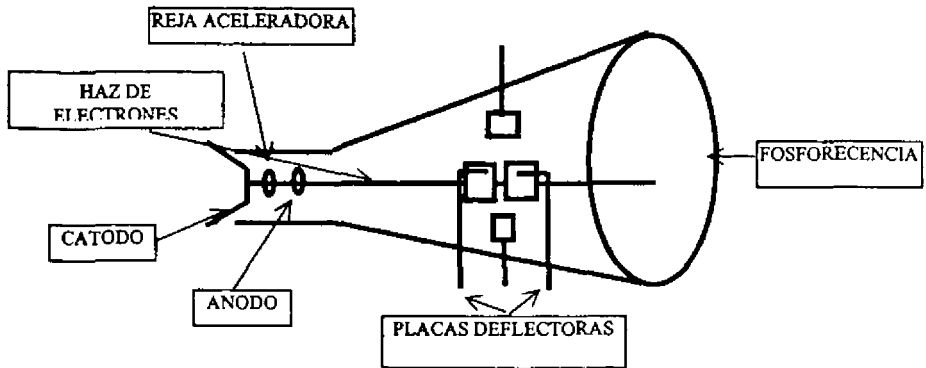
Actualmente nuestra televisión cuenta con una imagen compuesta de 150,000 puntos de luz que resulta realmente satisfactorio.

La televisión electromecánica vino a convertirse en la televisión que ahora conocemos gracias al aprovechamiento de los importantes trabajos realizados en el campo de la electrónica, estudiando el comportamiento de los electrones y sus efectos, y reuniendo los conocimientos y descubrimientos que desde 1609, con la obtención de lentes que nos legó Galileo, el "Efecto Edison", que en 1878 descubrió este sabio americano y que se refiere a la emisión de electrones que tiene lugar en los metales incandescentes, como los filamentos de las bombillas.

El sabio Sir William Crookes estudió las descargas eléctricas en el interior de tubos conteniendo gas enrarecido las que llamó rayos catódicos. Este trabajo posibilitó el descubrimiento de los rayos X en 1895, por el físico alemán Wilhelm Kolrad Roentgen.

El tubo ideado por este físico fue perfeccionado por el americano Willam David Coolidge, en 1903.

En 1897 el físico alemán Karl Ferdinand Braun aportó a la ciencia un utilísimo instrumento electrónico que se conoce con el nombre de oscilógrafo. Como se puede apreciar en la figura 2.3, la característica del tubo de Braun es que proporcionaba líneas luminosas sobre una pantalla a partir de señales eléctricas aplicadas a las placas deflectoras, un fino haz de electrones se hace chocar sobre una pantalla cubierta de una sustancia fosforescente, lo que produce una luz en la pantalla.



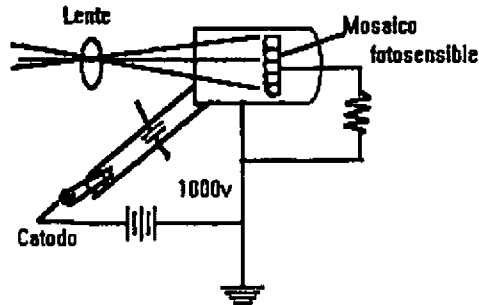
*Figura 2.3. Oscilógrafo de Braun.*

Cuando Lee De Forest experimentó con éxito su válvula triodo, los científicos se dieron cuenta de que introduciendo pequeñas modificaciones al viejo tubo de Braun, disponían de un instrumento electrónico que produciría imágenes variando la intensidad del haz para tener diferentes tonalidades. Sin embargo, aún no contaban con un instrumento que convirtiera las imágenes en señales eléctricas.

Fue el sabio ruso Bladimir Kosma Zworykin, que en 1923 patentó en Estados Unidos un aparato al que denominó como Iconoscopio, como se observa en la figura 2.4, sintetizando en él, los progresos anteriores, obteniendo señales eléctricas de imágenes ópticas. Con estos tubos, la televisión se hizo una realidad.

El tubo de Braun restituye la imagen óptica que el Iconoscopio de Zworykin había transformado en señal eléctrica. A partir de entonces se han ido perfeccionando los tubos que hacen posible la televisión, así tenemos el desarrollo del orticón en 1939 por James y Rose mejorado en 1945 por Rose, Law y Wimer.





*Figura 2.4. Iconoscopio de Zworykin.*

En 1950 nace el vidicón con la intervención de Weimer Forguey Goodrich.

Aunque el perfeccionamiento de todos los elementos y equipos que forman la televisión se sigue realizando por el hombre, lo cubierto hasta aquí nos da una idea de como surgió el mundo de la televisión.

Para las señales de video o audio, el margen de frecuencias es lo que se llama banda base, esas frecuencias corresponden realmente a la información visual o acústica deseada, sin complicaciones adicionales, tal como codificación o modulación para funciones especiales. En los sistemas de audio, las frecuencias de la banda base son de 20 a 20,000 hertzios (Hz), aunque comúnmente para sonido de alta fidelidad se utiliza la banda de 50 a 15,000 Hz. En los sistemas de video, las frecuencias de la banda base son desde 0 Hz para corriente continua hasta 4 MHz. La señal de la banda base puede ser aplicada a un reproductor con altavoz para reproducir el sonido deseado. También puede ser alimentada la señal de la banda base de video a un tubo de imagen para reproducir la imagen deseada.

La razón de convertir la información de audio y video en señales eléctricas de la banda base es que así pueden ser amplificadas convenientemente. Por lo demás, el proceso de la señal por los circuitos electrónicos es el adecuado para varios usos.

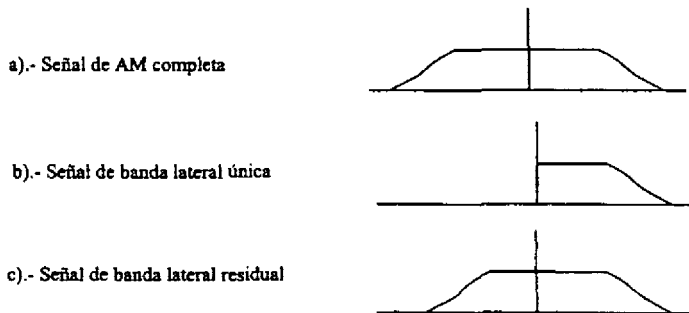
### 2.3 PRINCIPALES PARAMETROS DE UNA SEÑAL DE TELEVISION

Dentro de los principales parámetros de una señal de televisión, tenemos su ancho de banda definido para el video y para el audio, así como los principales parámetros de una señal de video estándar, de los cuales vamos a hablar a continuación.

La transmisión para una señal de televisión comercial ocupa un ancho de banda de 6 MHz. La porción de sonido de la emisión de TV. es una señal modulada en frecuencia, a la que la FCC (FCC: Federal Consultive Committe, Comité Consultivo Federal) le permite una desviación de frecuencia de 25 kHz. Así se tiene un ancho de banda de 50 kHz para la señal de sonido de FM. Localizado en la parte superior de la portadora de transmisión de TV.

La porción de video de una transmisión de televisión contiene información de sincronización así como también información en relación con las variaciones de negro a blanco.

Aquella parte de la transmisión de televisión en relación con la porción de video de la señal se emite como una banda lateral residual, como se observa en la figura 2.5.



*Figura 2.5. Representación de la señal de video a).- Completa, b).- Sin una banda lateral, c).- Con banda lateral residual.*

Una señal de banda lateral es, en forma básica, una señal de AM a la que se ha hecho algún arreglo. La información que se va a transmitir, por lo que a la señal de video respecta, tiene un ancho de banda de 4 MHz. Si se fuera a transmitir en forma de una simple señal de amplitud modulada se requeriría un ancho de banda de 8 MHz a fin de que quedaran completas las bandas laterales superior e inferior. La banda lateral residual se desarrolló con objeto de reducir el ancho de banda que se requiere y todavía permitir la transmisión del contenido de información de los 4 MHz.

Una forma de reducir el ancho de banda necesario podría ser simplemente emplear la transmisión de banda lateral única ya que con ello se requeriría sólo un ancho de banda de 4 MHz. Sin embargo, debido a que en frecuencias de TV se presenta el problema de la imposibilidad de eliminar en forma rigurosa una banda lateral, sin remover de manera accidental parte de la otra, es necesario dejar una porción de la banda lateral removida. Cuando se emplea la transmisión de banda lateral residual, se transmiten una banda lateral completa, la portadora y una parte de otra banda lateral garantizándose con ello el que se emita completo el contenido de información.

#### **Sistema de recepción de la señal de televisión**

Una televisión funciona con un cañón electrónico en el cuello del tubo de imagen localizado en el receptor de TV, crea un rayo electrónico al que se le acelera dentro del tubo, y en forma eventual choca con una pantalla luminiscente que se ilumina al recibir el impacto de los electrones.

Las variaciones del negro al blanco en cada punto de la pantalla se obtienen ejerciendo control en el voltaje aplicado a una reja situada dentro de la trayectoria del haz electrónico.

El haz es controlado en su movimiento por medio de bobinas de deflexión magnética que lo mueven en forma horizontal y vertical, observado desde el frente de la pantalla.

En la operación real, se obliga al haz a golpear la parte superior izquierda de la pantalla y de ahí se mueve hacia el lado derecho de la misma, de donde se regresa en forma rápida al lado izquierdo.

Conforme ocurre el movimiento de izquierda a derecha, se obliga al rayo a moverse hacia abajo sobre la pantalla, si bien esto se efectúa a menor velocidad.

Cada desplazamiento de izquierda a derecha es denominado línea, y cada secuencia de la parte superior a la inferior se llama campo.

Con objeto de reducir el parpadeo se emplea la exploración entrelazada, en la figura 2.6, observamos que en lugar de comenzar el segundo campo en el extremo superior izquierdo, empieza en la parte central de él y las líneas del segundo campo se entrelazan con las del primero. Con dos campos se constituye un cuadro. Para el sistema de televisión que nosotros conocemos hay 262.5 líneas por campo y 525 líneas por cuadro.

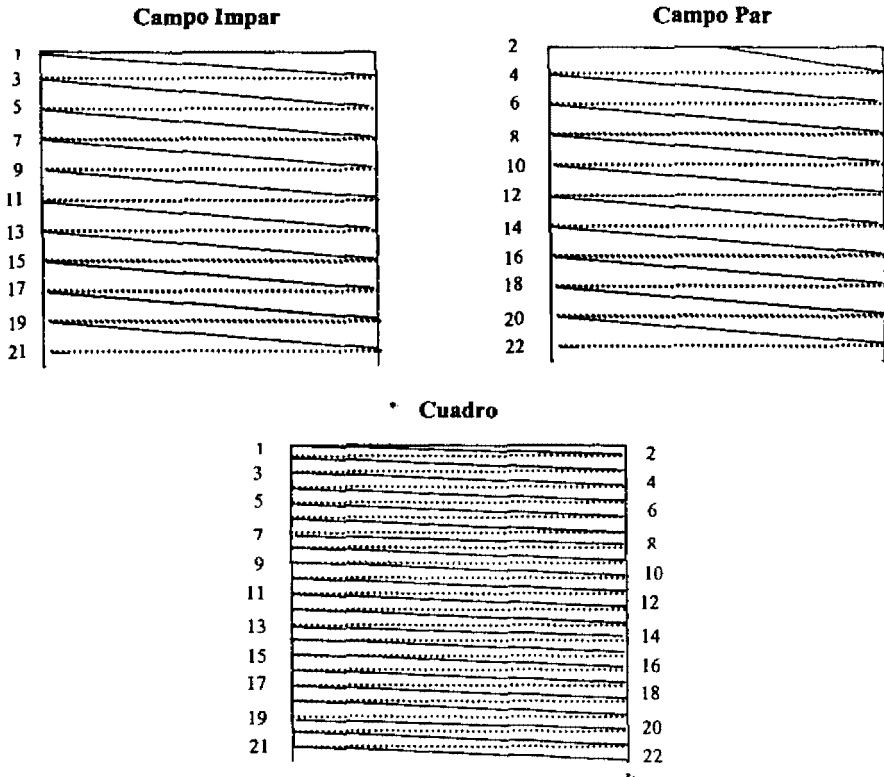


Figura 2.6. Barrido entrelazado en el sistema de TV NTSC.

Se incluyen pulsos de sincronismo horizontal dentro de la porción de imagen de la transmisión de TV con objeto de sincronizar el movimiento del haz electrónico en el tubo de la cámara en el estudio de TV con el haz electrónico en el receptor de TV.

El sistema de transmisión y recepción de televisión a color empleado es el sistema NTSC. El requisito principal de este sistema es que sea compatible con el sistema blanco y negro, la señal a transmitirse debe estar en un ancho de banda por canal de 6 MHz, con 2 portadoras, una de video y otra de audio, como se observa en la figura 2.7.

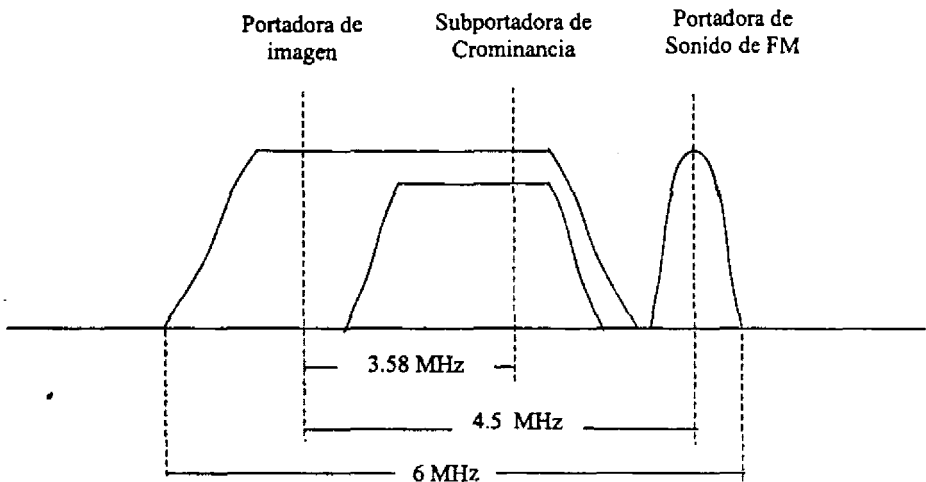


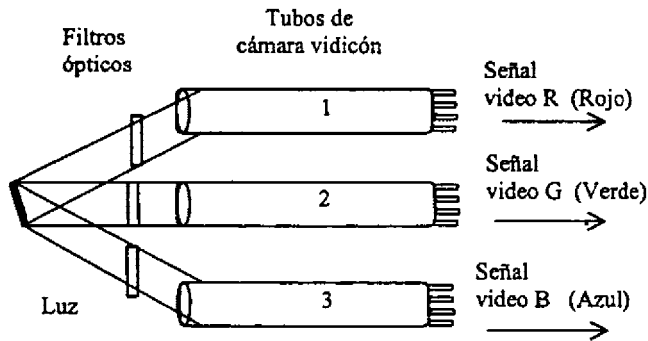
Figura 2.7. Portadoras de una señal de televisión a color comercial.

Las transmisiones de video en la televisión a color constan de dos partes principales, la porción de *luminancia* y la porción de *crominancia*. La porción de *luminancia* de la señal de video se relaciona con el brillo de la escena que se va a transmitir. La porción de *crominancia* de la señal de TV a color contiene información en relación con la tonalidad (color).

La porción de *chrominancia* de la señal de TV a color se transmite como una señal con portadora suprimida. El receptor contiene un oscilador de subportadora, cuya función es generar en forma local la subportadora de *chrominancia*. En la porción posterior del pulso de sincronismo horizontal, se enciman de 8 a 11 ciclos de la oscilación de su portadora de *chrominancia* en el transmisor. Esto se denomina ráfaga de color. El propósito de la ráfaga de color es proporcionar un medio para sincronizar a la subportadora en el receptor con la correspondiente en el transmisor.

### Transformación de la señal óptica a la señal eléctrica

En la figura 2.8 se puede ver que el sistema de televisión en color comienza y termina con rojo, verde y azul para la información de color en la escena. La cámara suministra estas señales de video de luz de diferentes colores. El tubo de imagen convierte las señales video de rojo, azul y verde en la luz de los colores correspondientes a los de la imagen original captada por el tubo de cámara.



*Figura 2.8. Tres tubos de cámara vidicon produciendo las señales video R, G y B para los colores rojo, verde y azul de la imagen.*

Se puede producir casi cualquier color añadiendo rojo, verde y azul en diferentes proporciones. El efecto aditivo se obtiene superponiendo los colores individuales. En un tubo de imagen tricolor, las informaciones de los colores rojo, verde y azul en la pantalla son integradas por el ojo humano para proveer la mezcla de color de la escena real. La persistencia de las imágenes proporciona el efecto de mezcla de color.

Los colores primarios (rojo, verde y azul), llamados así por que al combinarse forman diferentes mezclas de color.

Realmente la luz blanca debe ser considerada como una mezcla de los colores primarios rojo, verde y azul en las proporciones correctas. Un prisma de vidrio produce los colores del arcoiris por descomposición de la luz blanca. Para obtener el efecto opuesto, se pueden añadir rojo, verde y azul para producir el blanco, dentro de esta señal tenemos cuatro términos importantes que son el *matiz*, la *saturación*, la *crominancia*, y la *luminancia*.

#### - Matiz, Saturación, Crominancia, y Luminancia

Se conoce como *matiz* al color en sí mismo, ó tinte. Los colores saturados son vívidos intensos, profundos y fuertes. Los colores pálidos ó débiles tienen poca saturación. La *saturation* indica como esta diluido el color por el blanco. El término *crominancia*, se utiliza para combinar el matiz y la saturación. En la televisión en color, la señal de color de 3,58 MHz es específicamente la señal de *crominancia*. La *luminancia* indica la cantidad de intensidad de luz que es percibida por el ojo como brillo.

La televisión en color es compatible con la televisión en blanco y negro a causa de que se utilizan esencialmente las mismas normas de la exploración y de que la señal de *luminancia* hace posible que el receptor monocromático reproduzca en blanco y negro una imagen de color.

#### Medición de la luminancia

La señal de *luminancia* Y, representada en la figura 2.9, está formada por la suma del rojo, verde y azul, de las señales video primarias en las proporciones:

$$Y = 0.30R + 0.59G + 0.11B$$

Estos porcentajes corresponden al brillo relativo de los 3 colores primarios.

La señal Y tiene su máxima amplitud relativa de 1.0 ó 100% para el blanco, a causa de que incluye R, G y B. Este valor para el blanco se calcula por:

$$Y = 0.30 + 0.59 + 0.11 = 1.00$$

En otro ejemplo, la barra de color Ciano incluye G y B pero no R. Así el valor de Y para el Ciano se calcula por:

$$Y = 0 + 0.59 + 0.11 = 0.70$$

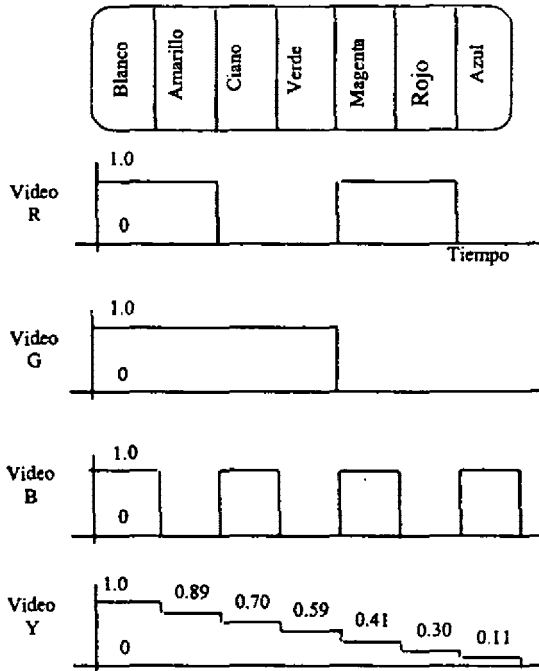


Figura 2.9. Formas de onda de las señales video R, G y B combinadas para formar la señal Y en la carta de ajustes de barras de color.

### Medición de la señal de televisión

La señal de video puede tener dos polaridades de sincronismo, ya sea negativa o positiva, en la positiva los impulsos de sincronismo, se encuentran en la parte superior de un oscilograma de tiempo-amplitud de tensión, y para el sincronismo negativo, los impulsos de sincronismo esta en la



parte inferior. En la figura 2.10, se muestra la amplitud estándar ó normalizada es de 1 volt pico-pico con sincronismo negativo.

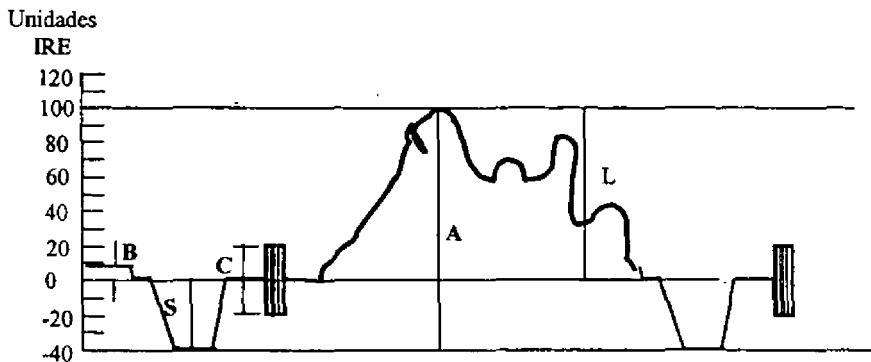
Máximo nivel de blanco = 100 unidades

|                                 |  |            |
|---------------------------------|--|------------|
| Señal de cámara = 92.5 unidades | Video compuesto, valor pico a pico de 140 unidades IRE | 0.714 Volt |
| Ajuste de negro = 7.5 unidades  |  |            |
| Sincronismo = 40 unidades       |  | 0.286 Volt |

Figura 2.10. Nivel de la señal de video de color.

**Escala IRE**

En los monitores de osciloscopio se comprueba la amplitud de la señal video con polaridad negativa de sincronismo para adoptar la escala IRE (IRE: Institute of Radio Engineers, Instituto de ingenieros de radio), en la actualidad a este Instituto se le conoce como: IEEE (IEEE: Institute of Electrical and Electronic Engineers, Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos). La escala total IRE incluye 140 unidades, con 100 por en cima de cero y 40 por debajo de cero. La amplitud pico a pico de la señal video compuesta contiene 140 unidades IRE. En la figura 2.11, se puede ver que, de las 140 unidades totales IRE, 40 (ó aproximadamente el 29%) son para sincronismo. Todos los impulsos de sincronismo tienen la misma amplitud, la cual es el 29% de la señal video pico a pico. El nivel máximo de blanco se aproxima a 100 unidades IRE, por tanto el nivel del negro se ajusta en 7.5 unidades IRE para que difiera del nivel de borrado.



Donde:

- A.- Es la amplitud pico a pico de la señal compuesta de video a color.
- B.- Diferencia entre el nivel negro y nivel de borrado.
- C.- Amplitud pico a pico del burst de color.
- L.- Valor nominal de la señal de luminancia.
- S.- Valor del pulso de sincronía.

*Figura 2.11. Medición de la señal de video en un monitor forma de onda, empleando la escala IRE.*

En la tabla 2.1, se tiene un cuadro comparativo de los diferentes tipos de transmisión de televisión existentes, dentro de los cuales podemos mencionar los siguientes:

- NTSC (NTSC: National Television System Committee, Comité Nacional de Sistemas de Televisión).
- PAL (PAL: Phase Alternation Line, Línea de fase alternada).
- SECAM (SECAM: Sequential Couleur A Memorie, Secuencia de color en memoria).
- SECAM IV.
- INGLATERRA.

La diferencia entre estos son las líneas por cuadro y el ancho de banda ocupado por cada uno de ellos no perdiendo con esto la calidad de la señal de televisión.

|                               | NTSC  | PAL   | SECAM   | SECAM IV                        | INGLATERRA              |
|-------------------------------|---|---|---------|---------------------------------|-------------------------|
|                               | Hemisferio occidental, lejano oriente, U.S., Canadá, Japón, México, y la mayoría de países de América del Sur | Europa Occidental, incluye Alemania, España, Italia y Holanda, pero no Francia, Brasil y Argentina. | Francia | Países del Ex bloque Soviético. | Sólo en el Reino Unido. |
| Líneas por cuadro             | 525   | 625   | 819     | 625                             | 405                     |
| Velocidad de cuadro por seg.  | 30  | 25  | 25      | 25                              | 25                      |
| Frecuencia de campo (Hz)      | 60  | 50  | 50      | 50                              | 50                      |
| Ancho de Banda de video (MHz) | 4   | 5   | 10.4    | 6                               | 3                       |
| Ancho de Banda de canal (MHz) | 6   | 7   | 14      | 8                               | 5                       |
| Modulación de audio           | F.M.  | F.M.  | A.M.    | F.M.                            | F.M.                    |

*Tabla 2.1. Cuadro comparativo de los diferentes tipos de transmisión de televisión comercialmente utilizados.*

## 2.4 TIPOS DE MODULACION

La modulación es el proceso por el cual las características del medio de transmisión se modifican para representar una señal analógica o digital, de tal forma que puedan viajar grandes distancias. La

modulación también se puede definir como la reunión de operaciones que transforman un mensaje dado en una serie de señales que deben ser aplicadas a un cierto canal de transmisión (por medio de la voz, por medio óptico, electromagnético, por conductor o por enlace Hertziano, etc...).

Algunas de las razones existentes que se consideran importantes para modular una señal son:

- Facilidad de radiación.
- Asignación de canales.
- Transmisión múltiplex.
- Reducción de ruido e interferencia.
- Superar las limitaciones del equipo para una transmisión eficiente.

Así también dependiendo de las características señal-mensaje del canal, de la respuesta que se desea obtener del sistema total de comunicaciones, del uso de los datos transmitidos y de los factores económicos, es como se aplican las diferentes técnicas existentes para modular una señal, las cuales ayudan a seleccionar el tipo de modulación que deberá aplicarse.

Los dos tipos básicos de modulación analógica son:

- Modulación de onda continua.
- Modulación por pulsos.

### **Modulación de onda continua**

Hay dos tipos básicos de modulación de onda continua:

- Modulación angular.
- Modulación lineal.

En la modulación por onda continua un parámetro de la portadora varía en proporción con la señal mensaje o moduladora, de tal manera que deberá existir una correspondencia uno a uno entre el parámetro y la señal mensaje. Cuando la amplitud se encuentra linealmente relacionada con la señal moduladora, el resultado será una modulación lineal (modulación de amplitud). Cuando la fase y la frecuencia están linealmente relacionadas con la señal moduladora en forma colectiva se conoce como modulación angular (modulación de frecuencia).

**Modulación de amplitud**

Es un proceso que consiste en variar la amplitud de una onda portadora de RF en función de la tensión moduladora. La amplitud de la onda portadora varía linealmente con los valores que toma la señal moduladora, que está formada espectralmente por una banda de audiofrecuencias (generalmente) como es el caso de las señales de voz o musicales. El carácter distintivo de la onda de AM radica en que la envolvente de la portadora modulada tiene la misma forma que la de la onda del mensaje. Para simplificar el análisis se considera la señal moduladora constituida por un solo tono de audio.

Consideremos una onda portadora de radiofrecuencia dada por:

$$v_c = V_c \text{sen} \omega_c t \text{ ----- 2.1}$$

donde:

$\omega_c = 2\pi f_c$  y  $f_c$  es la frecuencia de la portadora.

Si la señal moduladora se describe como:

$$v_m = V_m \text{sen} \omega_m t \text{ ----- 2.2}$$

donde:

$\omega_m = 2\pi f_m$  y  $f_m$  es la frecuencia de la señal de audio, entonces puede verse en la figura 2.12 que la amplitud de la portadora modulada varía senoidalmente entre los valores de  $(V_c + V_m)$  y  $(V_c - V_m)$ .

Si consideramos a la relación  $V_m/V_c = m$  como el índice de modulación, entonces  $V_m = mV_c$ , y la fórmula que expresa la señal modulada es:

$$v_c = (V_c + V_m \text{sen} \omega_m t) \text{sen} \omega_c t \text{ ----- 2.3}$$

6

$$v_c = V_c \text{sen} \omega_c t + mV_c \text{sen} \omega_c t * \text{sen} \omega_m t \text{ ----- 2.4}$$

Como  $\text{sen } \omega_c t * \text{sen } \omega_m t = 1/2 [\text{Cos}(\omega_c - \omega_m)t - \text{cos}(\omega_c + \omega_m)t]$

De donde al sustituir.

$$v_c = V_c \text{Sen } \omega_c t + (mV_c/2) \text{Cos}(\omega_c - \omega_m)t - (mV_c/2) \text{Cos}(\omega_c + \omega_m)t \text{ -----2.5}$$

La última ecuación muestra que una onda de AM tiene tres componentes frecuenciales. La frecuencia del primer término es la frecuencia de la portadora, la correspondiente al segundo término es la frecuencia lateral inferior, y el último término la frecuencia lateral superior.

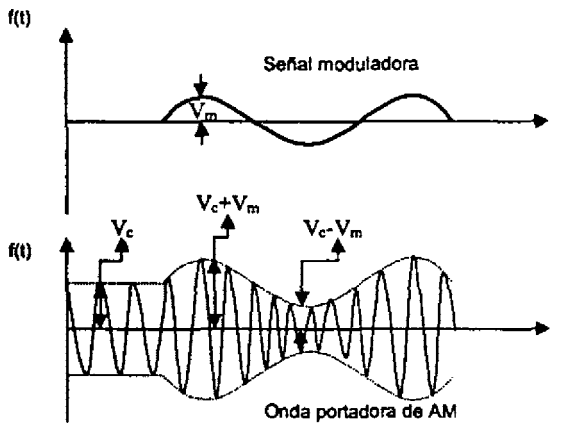


Figura 2.12. Característica de una onda de AM.

### Modulación en frecuencia

En competencia con la modulación de amplitud, algunos sistemas utilizan modulación angular debido a la inmunidad de los mismos, frente a las variaciones de amplitud del ruido. En la modulación angular se varía la fase instantánea de la onda portadora. Algunos ejemplos típicos de la utilización de FM son las radiodifusiones VHF, las comunicaciones por satélite y el radar de FM.

El proceso que consiste en variar la frecuencia de una onda portadora proporcionalmente a una señal moduladora se le conoce como modulación de frecuencia. La amplitud de la portadora de una onda de FM es constante. Durante la modulación, la frecuencia de la portadora aumenta cuando la tensión

de la moduladora se incrementa en valores positivos y disminuye cuando la tensión moduladora pasa por los valores negativos, como se ilustra en la figura 2.13.

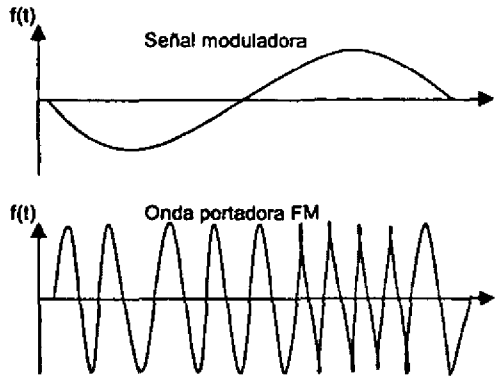


Figura 2.13. Señal de FM.

Para obtener una fórmula que represente una onda de FM supóngase que la onda portadora instantánea se representa por:

$$v_c = V_c \text{sen} \omega_i t = V_c \text{sen} 2\pi f_i t \text{-----} 2.6$$

Donde  $f_i$  es la frecuencia instantánea. Para un incremento positivo de la frecuencia tenemos:

$$f_i = f_c + df_c \text{Sen} \omega_m t \text{-----} 2.7$$

Donde  $f_c$  es la frecuencia portadora y  $df_c$  es la desviación de frecuencia de la onda portadora producida por la señal moduladora de frecuencia  $f_m$ .

Si la fase instantánea de la portadora es  $\Phi$ , entonces:

$$1/2p(d\Phi/dt)=f_i=f_c+df_c\text{Sen}w_mt \text{-----} 2.8$$

ó

$$d\Phi/dt=2\pi f_i=w_c+2\pi df_c\text{Sen}w_mt \text{-----} 2.9$$

integrando, tenemos:

$$\Phi_i=w_ct-df_c/f_m\text{Cos}w_mt \text{-----} 2.10$$

ó

$$\Phi_i=w_ct-mf\text{Cos}w_mt \text{-----} 2.11$$

Donde la relación  $mf=df_c/f_m$  representa el índice de modulación.

Como  $v_c=V_c\text{Sen}\Phi_i$

Obtenemos:

$$v_c=V_c\text{Sen}[w_ct-mf\text{Cos}w_mt] \text{-----} 2.12$$

La ecuación 2.12, representa a una onda de FM.

Las modulaciones de frecuencia y fase son mucho más inmunes al ruido y mantienen la potencia de la señal portadora constante, independientemente de la señal moduladora; sin embargo, necesitan un mayor ancho de banda para su transmisión que la señal equivalente modulada en amplitud.

### Modulación por pulsos

Existen varios tipos de modulación analógica por pulsos, algunos de ellos son:

- Modulación por amplitud de pulsos (PAM).
- Modulación por ancho de pulso (PWM).
- Modulación por posición de pulsos (PPM).



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

Un ejemplo de estos tipos de modulación se encuentra en la figura 2.14.

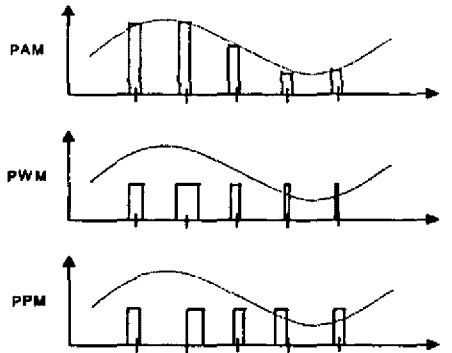


Figura 2.14. Tipos de modulación PAM, PWM y PPM.

En la modulación por amplitud de pulsos, la amplitud de un tren de pulsos digitales se varía en forma proporcional con la amplitud de la señal moduladora. Básicamente la amplitud de la señal moduladora es muestreada por el tren digital de pulsos, de acuerdo con el teorema de muestreo, que da la frecuencia mínima a que debe muestrearse aquella señal.

La técnica para variar la anchura de un pulso por la señal moduladora se llama modulación por ancho de pulsos o *PWM*, por tanto cada uno de los frentes anteriores o posterior a ambos del pulso puede variarse en función de la señal moduladora.

El proceso de variar la posición o tiempo de ocurrencia de un pulso debido a la señal moduladora recibe el nombre de modulación por posición de pulsos ó *PPM*. La forma de realizar tal proceso consiste en desplazar cada impulso desde su posición sin modular, en una cantidad proporcional a la señal moduladora.

Debido al avance que existe en la tecnología de las comunicaciones, se hace común usar frecuentemente técnicas de modulación digital, ya que al aplicar estas técnicas se logra minimizar algunos efectos, tales como el ruido y la interferencia.

### **Modulación digital**

Como ya se mencionó, ante la importancia que tienen las comunicaciones digitales, y el enfoque que este trabajo tiene, sólo nos dirigiremos a algunas técnicas básicas de modulación digital. Se tiene que éstas se encuentran divididas en dos grupos:

- Modulación coherente.
- Modulación no coherente.

Se llama coherente al sistema digital, si está disponible una referencia local de demodulación, que esté en fase con la portadora transmitida. Si no sucede así al sistema se le llama no coherente.

Dentro de los sistemas coherentes se encuentran:

- Manipulación por corrimiento de fase (PSK).
- Manipulación por corrimiento de frecuencia (FSK).
- Manipulación por corrimiento de amplitud (ASK).

Un ejemplo de estos sistemas se ilustra en la figura 2.15, Donde se muestran las señales generadas para la transmisión de los bits 00101101.

Dentro de la modulación por corrimiento de fase (PSK) se encuentran:

- Modulación por corrimiento de fase binario (BPSK).
- Modulación por corrimiento de fase en cuadratura (QPSK).

### **Modulación por corrimiento de fase binario (BPSK)**

Si consideramos un sistema de un pulso binario 0 y 1 que se usan para activar una onda senoidal de alta frecuencia con dos posibles fases, una por cada pulso, estaremos utilizando una modulación PSK binaria (BPSK).

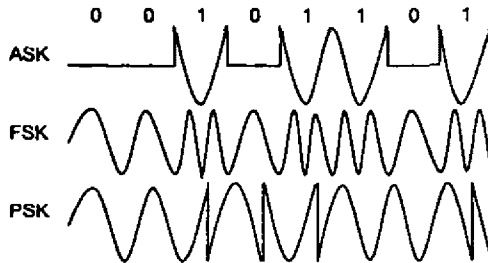


Figura 2.15. Señales generadas según los tres tipos de modulación.

En la figura 2.16 se muestra la representación vectorial de la modulación *BPSK*. Donde podemos ver que el vector correspondiente a 0 está a  $0^\circ$  y el vector correspondiente a 1 esta a  $180^\circ$ .

En una modulación *BPSK* se representa un código binario mediante dos fases  $0^\circ$  y  $180^\circ$ .

En *BPSK* se utiliza la detección coherente ya que la amplitud y frecuencia de la portadora permanecen constantes y lo único que varía es la fase, siendo en ésta donde reside la información transmitida. La sincronización se logra al encadenarse o amarrarse el reloj del transmisor al reloj del receptor dentro de una fracción de un ciclo de la portadora.

**Modulación por corrimiento de fase en cuadratura (*QPSK*)**

Si consideramos un sistema en el cual se combinan dos pulsos binarios sucesivos y el resultado es el conjunto de cuatro pares binarios 00, 01, 10, y 11 que se usan para activar una onda senoidal de alta frecuencia con cuatro posibles fases, una por cada uno de los pares binarios, estaremos utilizando una modulación *PSK* cuaternaria (*QPSK*)

En la figura 2.16 se muestra la representación vectorial de la modulación *QPSK*. Donde podemos ver que el vector correspondiente a 00 está a  $0^\circ$ , el vector 01 está a  $90^\circ$ , el vector 11 está a  $180^\circ$  y el vector 10 está a  $270^\circ$ . Como consecuencia de esto, notamos que un cambio de fase de  $90^\circ$  causa únicamente un bit de error.

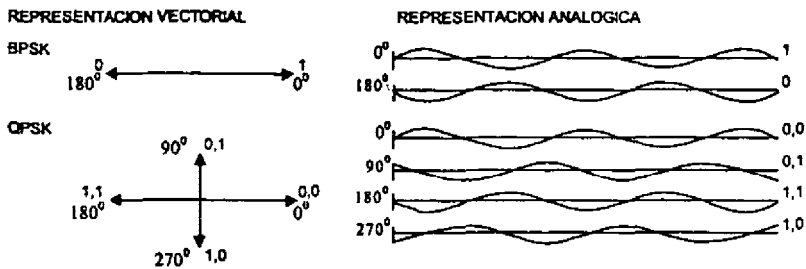


Figura 2.16. Modulación BPSK y QPSK.

Dentro de los sistemas no coherentes tenemos:

- Manipulación de variación de fase diferencial, la cual se muestra en la figura 2.17.

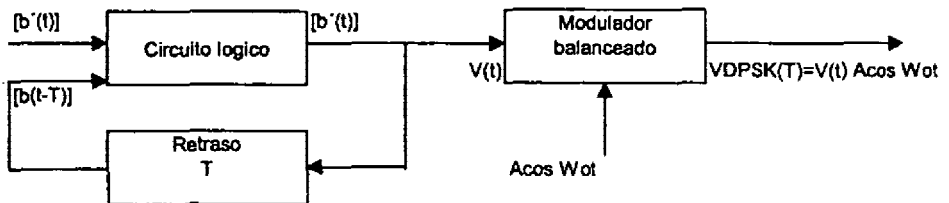


Figura 2.17. Manipulación de fase diferencial DPSK y método para generar una señal DPSK.

## 2.5 CODIGOS

El proceso de codificación consiste en añadir bits de redundancia de una forma controlada a la información que requiere protección, esta información adicional suministrada para redundancia puede ser usada para detectar y/o corregir errores que ocurran durante la transmisión.

Los datos digitales se pueden transmitir mediante diferentes códigos de transmisión o de línea tales como:

### Códigos de línea

Existen dos grandes clasificaciones de los códigos de línea:

- NRZ (NRZ: No Return to Zero, No Regresa a Cero).
- RZ (RZ: Return to Zero, Regreso a Cero).

Dentro de estos están las siguientes clasificaciones:

**Códigos unipolares:** En caso de lógica positiva existen 2 niveles de representación +V para un uno lógico y 0 volts para un cero lógico.

**Códigos polares:** Se utilizan dos niveles para representar la información: +V para un 1 lógico y -V para un 0 lógico.

**Códigos bipolares:** Aquí se utilizan tres niveles para representar la información: +V / -V para un uno lógico y 0 volts para un 0 lógico.

#### - NRZ (no return to zero)

Los códigos NRZ son de tres tipos, cada uno de los cuales puede realizarse en las formas polar, unipolar y bipolar.

#### - NRZ L (nonreturn to zero-level)

NRZ L (NRZ-L: Nonreturn to Zero Level, No Regreso a Cero Nivel) es el código más simple de realizar. La señal en banda base tiene un nivel constante en el intervalo de un bit, los niveles son dos, correspondientes cada uno a un estado lógico del dato. Así al bit 1 le corresponde +V y al bit 0 el valor de 0V (o -V, en el caso de código polar). En la figura 2.18 (a) se muestra un ejemplo de este código en su forma unipolar, polar y bipolar. Estos códigos tienen la ventaja de una realización práctica, sencilla tanto en la fase de transmisión como en la fase de recepción.

Se cuenta también con el código *NRZ-M* (NRZ-M: Noreturn to Zero Marca, No Regreso a Cero Marca) el cual se genera de la siguiente forma: Siempre comienza con un nivel cero, en un 1 lógico ocasiona cambio de nivel en la señal, en un 0 lógico no ocasiona cambio de nivel en la señal que genera. En la figura 2.18 se muestra un ejemplo de este código.

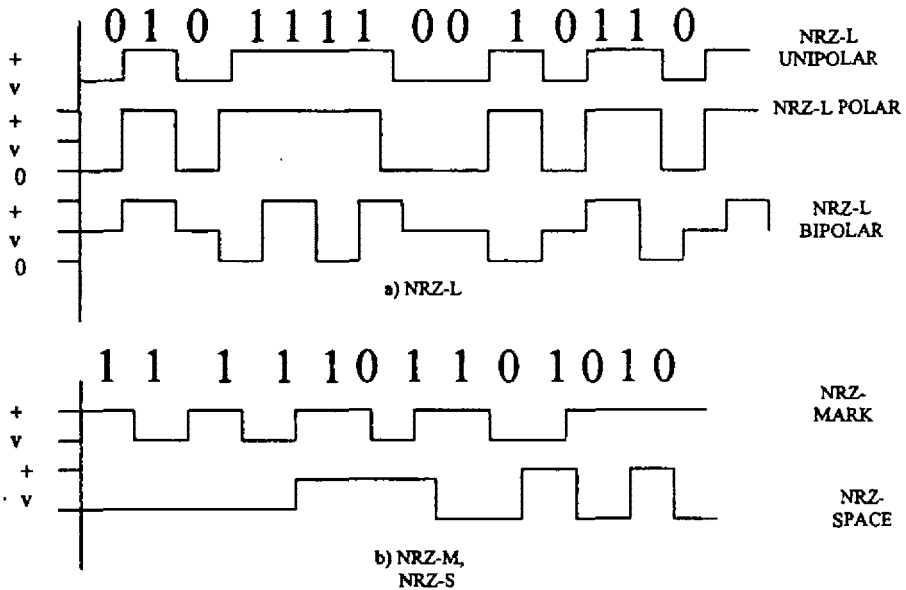


Figura 2.18. Códigos de línea.

Se cuenta con el código *NRZ-S* (NRZ: No return to Zero Space, No Regreso a Cero Espacio) el cual se genera de la siguiente forma: Comienza con nivel cero, un 1 no ocasiona cambio de nivel en la señal, un 0 ocasiona cambio de nivel en la señal. En la Figura 2.18 se muestra un ejemplo de este código.

- Código RZ unipolar

Aquí cada bit tiene un valor en particular, el 1 tiene un nivel y el 0 otro, la señal toma el valor asignado durante un intervalo del periodo de bit ( generalmente hasta la mitad) y el resto retorna a cero.

Otros códigos empleados son:

**- Código Morse**

Primer código ampliamente utilizado en comunicaciones eléctricas, este código originalmente fue diseñado para comunicaciones sobre líneas de telégrafo, después fue desarrollado para comunicaciones por radio, por lo que este código no es para comunicaciones de datos. En la tabla 2.2 se muestra parte de estos caracteres en código Morse:

|   |           |   |             |         |                     |
|---|-----------|---|-------------|---------|---------------------|
| A | · _ _ _   | 0 | _ _ _ _ _ _ | ,(coma) | _ _ _ _ · · _ _ _ _ |
| B | _ · · ·   | 1 | · _ _ _ _ _ | ¿       | · · _ _ _ _ · ·     |
| C | _ · · _ · | 2 | · · _ _ _ _ |         |                     |
| D | _ · · ·   | 3 | · · · _ _ _ |         |                     |
| E | ·         | 4 | · · · · _   |         |                     |
| F | · · _ _ · | 5 | · · · · ·   |         |                     |
| G | _ _ _ ·   | 6 | _ _ _ · ·   |         |                     |

*Tabla 2.2. Caracteres en código Morse.*

**- Código Duobinario**

Este código se forma de la siguiente forma:

Un 1 tiene igual polaridad que el anterior 1, si el número de 0's entre los dos es par.

Un 1 tiene polaridad opuesta al anterior uno si el número de 0's entre los dos es impar.

**- Códigos de Huffman**

Los códigos de Huffman producen información compacta que se puede construir al ordenar las señales de entrada de acuerdo con sus amplitudes. Dado un alfabeto, ASCII por ejemplo, se asigna a cada símbolo de ese alfabeto un conjunto de 0's y 1's que serán su palabra código.

- **Código de Baudot**

Este código fue diseñado para ser enviado y recibido por máquinas, su nombre oficial es código numero 2 *CCITT* y en Inglaterra se considera como el código de Murria, debido a que él diseñó la presente versión.

Como se puede observar en la tabla 2.3 los caracteres se representan con 5 bits, por lo que existen hasta 32 combinaciones por bit.

Ejemplo:

| Código Baudot | Hex   | Ltrs |
|---------------|-------|------|
| 00011         | \$ 03 | A    |
| 11001         | \$ 19 | B    |
| 01110         | \$ 0E | C    |

*Tabla 2.3. Código de Baudot.*

- **Código ARQ (ARQ: Automatic Repit Request, Solicitud Automática de Repetición)**

Fue desarrollado para su uso en medios de transmisión ruidoso, tiene el mismo sistema de letras y figuras que el Baudot, usa 7 bits para representar un carácter, el código para cada carácter usa 3 unos lógicos y 4 ceros lógicos, como se puede apreciar en la tabla 2.4.

| ARQ     | Hex    | Ltrs |
|---------|--------|------|
| 0011010 | \$ 1 A | A    |
| 0011001 | \$ 19  | B    |
| 01001   | \$ 0E  | C    |

*Tabla 2.4. Código ARQ.*

- **Código de ASCII**

Es un código de 7 bits, puede tener hasta 128 caracteres, un octavo bit llamado de paridad se agrega para chequeo de error, es muy utilizada en transmisión de datos, contiene letras mayúsculas y minúsculas, la versión internacional del código es llamada código número 5.



La paridad es una forma de recuperar la información en el receptor cuando ésta ya fue dañada por el ruido, es una forma simple de detectar errores, se usa en el código *ASCII*. Existen dos tipos:

**Paridad Par:** Toma en cuenta que el número de 1's dentro de la palabra sea un número par.

**Paridad Impar:** Toma en cuenta que el número de 1's dentro de la palabra sea un número impar.

Este método agrega bits de redundancia, su implementación física es muy sencilla por lo que es la más utilizada.

#### - Código EBCDIC

Es desarrollado por *IBM* para su uso en equipos Main Frame, utiliza 8 bits por carácter, los bits son numerados al contrario de la forma normal, respuesta hasta 256 diferentes caracteres, tiene un gran número de caracteres de control cuyo uso es similar al *ASCII*.

#### - Códigos de protección de errores

La función principal de las técnicas de control de errores es introducir redundancia controlada permitiendo que los mensajes transmitidos que hayan sido corrompidos sean corregidos antes de ser procesados.

## 2.6 TRANSMISION DE DATOS

La transmisión de las ondas electromagnéticas moduladas como señales y potencia eléctrica, constituye la principal aportación tecnológica de la ingeniería al desarrollo actual de las comunicaciones.

La expresión línea de transmisión se refiere a un sistema de conductores encargados de guiar las señales y la potencia eléctrica desde un punto de generación hasta otro de recepción.

Llaman la atención las líneas de transmisión de alto voltaje que van sobre altas torres de acero y que atraviesan las zonas rurales en todas direcciones soportando cientos de kiloWatts de potencia.

También se pueden observar los millones de kilómetros de líneas en postes que van paralelos a calles de ciudades, caminos rurales y vías férreas; estas líneas pueden proporcionar potencias del orden de kiloWatts, destinados a usuarios domésticos e industriales, ó también pueden usarse para transmitir señales telefónicas o de teletipo a niveles de potencia de un miliWatt y frecuencias de kHz a distancias de pocas docenas de kilómetros.

Cada receptor de radio o televisión es una terminal de otro sistema de transmisión eléctrica, en el cual la potencia es del orden de MHz, la señal se propaga libremente desde la antena transmisora a través de la atmósfera terrestre guiada por la conductividad de la superficie terrestre; de la antena receptora hasta las terminales de aparato receptor existe una línea de transmisión eléctrica que conduce una señal de potencia del orden de picoWatts o nanoWatts.

Existen también transmisores de señales o de potencia eléctrica por medio de líneas subterráneas, cuyas longitudes en kilómetros se encuentran en forma de pares de alambres entrelazados y aislados con papel o plástico y que se empaican por centenares en tubos para cables subterráneos.

Estos cables pueden transportar señales telefónicas de teletipo y datos a una frecuencia de varios kHz. Otro tipo de cables que pueden ser subterráneos o aéreos, son los cables concéntricos o coaxiales que operan a muy altas frecuencias, llevando las señales en multicanal para servicios de televisión.

También existe la comunicación intercontinental realizada a través de miles de kilómetros por cables coaxiales submarinos que atraviesan la mayoría de los océanos del mundo.

Las líneas de transmisión guían la energía de un punto a otro y se desea, por lo general, que el transporte sea de la mejor calidad posible, buscando que sean mínimas las pérdidas en el trayecto, debidas a calor por efecto Joule o a la radiación.

**Clasificación de datos**

Las señales transmitidas en un sistema de comunicación son utilizadas para enviar datos, ya sea:

- Datos analógicos.
- Datos digitales .

**Datos analógicos**

Los datos analógicos provienen de variables que cambian continuamente en el tiempo y pueden tomar un número infinito de valores, dentro de un cierto intervalo. Ejemplo de estas variables son temperatura ambiente, presión atmosférica, ondas sonoras, etc.

**Datos digitales**

Estos datos provienen de variables que solamente pueden tomar un número finito de valores discretos. Algunos ejemplos de estas variables son: los diferentes caracteres que componen un texto, el conjunto de números reales enteros que pueden ser representados por una computadora y, en general, toda la información generada por equipos de cómputo.

**Transmisión de datos**

Para transmitir datos a través de un sistema de comunicación es necesario utilizar señales que los representen y se propaguen a través del canal de comunicación.

Estas señales pueden ser clasificadas en:

- Señales analógicas.
- Señales digitales.

**Señales analógicas**

Las señales analógicas varían continuamente en el tiempo y pueden tomar un número infinito de valores dentro de un cierto intervalo. Ejemplo de estas señales son las señales eléctricas o electromagnéticas para transmitir datos.

**Señales digitales**

Estas señales, en teoría, solamente pueden tomar un número finito de valores diferentes y, por lo general, sólo pueden cambiar de valor en periodos predeterminados. Las señales digitales pueden ser señales eléctricas, rayos infrarrojos o rayos láser principalmente.

**Transmisión de señales**

De acuerdo con las señales utilizadas para transmitir información e independientemente del tipo de datos que se envíen, la transmisión puede clasificarse en:

- Transmisión analógica.
- Transmisión digital.

**Transmisión analógica**

Las señales analógicas sufren una menor atenuación y distorsión que las señales digitales, aunque también se atenúan y se distorsionan. Estas señales son más complicadas de generar que las señales digitales, pero pueden viajar a mayores distancias antes de que la atenuación y la distorsión provoquen que la señal no se puede recuperar.

De manera similar con lo que ocurre con las señales digitales, las señales analógicas sufren mayor atenuación y distorsión tanto al viajar a mayores distancias como al variar mas rápidamente su valor.

En las transmisiones analógicas se utilizan amplificadores para restituir en la señal la potencia perdida debido a la atenuación. Estos amplificadores también pueden tener ecualizadores para compensar parcialmente el efecto de la distorsión.

Los amplificadores restituyen potencia a las señales analógicas, pero amplifican el ruido, lo cual no ocurre con los repetidores regenerativos utilizados en las transmisiones digitales.

**Transmisión digital**

Las señales digitales son más fáciles de generar, sin embargo cuando se transmite una señal digital por un conductor eléctrico, ésta sufre una mayor atenuación y distorsión que una señal analógica.

La atenuación y la distorsión dependen de las características del medio (conductor eléctrico) y de la velocidad de transmisión, siendo más grandes a mayores velocidades y distancias.

Para contrarrestar estos problemas se utilizan repetidores cada cierta distancia. La función de un repetidor es reconocer o decodificar la señal digital que le está llegando y generar una señal restablecida idéntica nueva. Por esta razón también se le conoce como repetidor degenerativo.

En una transmisión digital no se utilizan amplificadores.

### **Transmisión y sincronización**

La comunicación de datos puede hacerse en forma serial o en forma paralela. En comunicación serial se transmite un solo bit a la vez y en comunicación en paralelo se transmiten varios bits, cada uno en un canal de comunicación diferente, por lo general se transmite un carácter o byte a la vez.

La comunicación en paralelo se utiliza principalmente en impresoras y en multiprocesadores de alta velocidad.

En redes de computadoras se usa primordialmente la comunicación serial. A continuación se describirán las diferentes formas de comunicación serial utilizadas en la comunicación de datos.

Si se toma en cuenta la forma en que se sincronizan el receptor del transmisor, la comunicación puede ser asincrónica o sincrónica.

### **Transmisión asincrónica**

El primer tipo de comunicación que se utilizó fue la comunicación asincrónica. En este tipo de comunicación la sincronización se realiza a nivel carácter o byte como se describe a continuación:

Cuando la línea de transmisión está ociosa, se encuentra en el estado uno. Al transmitir un carácter se envía la siguiente información:

- Un bit de inicio (start) que pasa la línea al estado cero durante el tiempo que dura en transmisión un bit.

- Un bit de paridad para corrección de errores (Si el número de unos es par, se añade un cero y si el número de unos es impar, se añade un uno)
- Los siete bits y el bit de paridad del carácter, manteniendo la línea en el estado cero o uno durante el tiempo de transmisión de un bit, dependiendo del bit a transmitir.
- Uno o dos bits de paro (stop), los cuales se envían manteniendo la línea en el estado uno.

En la figura 2.19 se muestra como se vería la variación del voltaje en una línea de comunicación al transmitir el carácter 10110010, utilizando dos bits de paro.

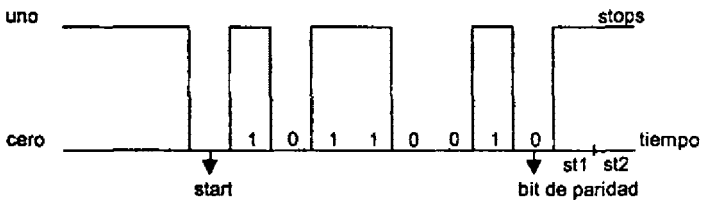


Figura 2.19. Variación de voltaje utilizando dos bits de paro.

La comunicación asincrónica no es muy eficiente debido a los bits de inicio y de paro. Una forma más eficiente es utilizar una comunicación sincrónica.

**Transmisión sincrónica**

En la comunicación sincrónica se transmite un bloque de caracteres o bits. En el primer caso la sincronización está orientada a caracteres y el segundo a bits.

En este tipo de comunicación los relojes del transmisor y receptor deben estar sincronizados. Una posibilidad es tener un canal exclusivo para enviar la señal de sincronización y otra es incluir la información de sincronización entre los mismos datos.

En la transmisión sincrónica orientada a caracteres se transmiten bloques de caracteres, generalmente de 8 bits, con un formato similar al de la tabla 2.5.

|       |       |         |       |       |         |
|-------|-------|---------|-------|-------|---------|
|       |       |         |       | ...   |         |
| sincr | sincr | control | datos | datos | control |

*Tabla 2.5. Transmisión sincrónica orientada a caracteres.*

Generalmente el bloque de información contiene dos o más caracteres de sincronización (sincr) al inicio, los cuales sirven para que el receptor reconozca el inicio del bloque y sincronice su reloj.

Los caracteres de sincronización son un patrón fijo preestablecido que no debe ocurrir en ninguna otra parte del bloque de información.

La información de control al inicio, entre otras cosas, contiene la longitud del bloque de datos para que el receptor sepa hasta donde debe continuar recibiendo caracteres de ese bloque.

Después siguen todos los caracteres de datos y finalmente otros caracteres de control, generalmente un CRC (CRC:Cyclical Redundancy Check, Verificador redundante cíclico), que se utilizan para verificar que el bloque de información haya sido recibido sin errores.

En la comunicación sincrónica orientada a bits también se transmiten bloques de información, pero ahora cada bit será tratado en forma independiente para efectos de transmisión.

El bloque de información en este caso consta de una señal que lo precede, que es una secuencia predeterminada de bits, además de un conjunto de bits de control, un conjunto de bits de datos, otro conjunto de bits de control y finalmente una señal que lo sucede, que por lo general tiene la misma secuencia que la señal precursora.

La secuencia de bits de inicio que constituye la señal precursora no debe existir en ninguna otra parte del bloque de información, excepto en la señal sucesora.

De acuerdo con las señales que se utilizan para transmitir la información, la comunicación puede estar formada por señales analógicas o digitales, como se ha mencionado con anterioridad.

## 2.7 TIPOS DE COMPRESION DE SEÑALES DIGITALES

Enviar señales digitales a través de un canal de comunicaciones requiere una gran cantidad de ancho de banda, la solución lógica a este problema es la compresión digital. Compresión implica disminuir el número de parámetros requerido para representar la señal, manteniendo una buena calidad perceptual. Estos parámetros son codificados para almacenarse o transmitirse.

El sistema que desempeña esta tarea es el CODEC (CODificador/ DECODificador), el cual se encarga de codificar las entradas de audio, video, y datos del usuario, y multiplexarlas para posteriormente transmitir una señal digital dirigida al usuario.

En el otro extremo, el *CODEC* recibe la cadena de datos digitales (provenientes del emisor), y separa (demultiplexa) las señales de audio, video y datos para decodificar la información y visualizarla.

Existen distintos sistemas de compresión. Cada uno de ellos se ideó buscando objetivos distintos. Es muy importante tener muy claro lo que se quiere hacer antes de decidir con que sistema trabajar, ya que el sistema puede ser idóneo para cierto tipo de trabajo pero absolutamente inadecuado para otro, y todos ellos tienen sus ventajas y sus inconvenientes.

Existe una amplia gama de posibilidades sobre el *CODEC*, por las cuales deben existir unas normas para asegurar la compatibilidad de equipos, este estándar es el H.320.

### Método de compresión

La "estructura de la imagen" está compuesta de una serie de "cuadros" y el efecto de movimiento es llevado a cabo a través de pequeños y continuos cambios sobre éstos. Debido a que la velocidad de



estas imágenes es de treinta cuadros por segundo, las modificaciones entre cuadros dan la sensación al ojo humano de movimiento natural.

Estos cuadros (que tendrán una codificación determinada) están divididos en píxeles, cada uno de ellos con un valor de luminancia y color. Así, la señal de video posee una tremenda cantidad de información; por lo que, para transmisión o almacenamiento, se requiere de la compresión o codificación de la imagen.

### **Proceso de compresión**

Existen dos tipos de redundancias que pueden eliminarse en el proceso de compresión:

- Sobre el dominio del espacio (Existente en cada cuadro). Suelen basarse en las pequeñas diferencias entre los píxeles contiguos de un cuadro. El método para eliminar este tipo de redundancias es la codificación intracuadros.
- Sobre el dominio del tiempo: Viene definida por las diferencias entre cuadros y son debidas a pequeñas modificaciones en cuadros subsecuentes (causados por el movimiento de un objeto).

Estas redundancias pueden ser eliminadas mediante el método de codificación intercua-dros.

Una visión general de la técnica de compresión de video consistiría en las siguientes tres fases:

1. Preprocesamiento de las diferentes fuentes de video de entrada (señales de TV, señales de cámaras de video, etc...). En el cual se realiza el filtrado de la señal de entrada, para eliminar componentes inútiles, y el ruido que pudiera existir en ésta.
2. Conversión de la señal a un formato intermedio común (CIF).
3. Compresión ("propriadamente dicha").

Las imágenes comprimidas son transmitidas a través de la red de comunicaciones y se hacen llegar al receptor donde son reconvertidas al formato *CIF*, y desplegadas para visualizarlas después en el terminal.

### Algunos tipos de compresión

#### - Compresión (vídeo)

Proceso que consiste en reducir el ancho de banda o la velocidad de la señal de vídeo. Las normas que se utilizan en la actualidad, *NTSC*, *PAL*, y *SECAM* son sistemas de compresión de vídeo analógico. En los sistemas digitales se analizan las imágenes para detectar la redundancia y la repetición y eliminar así los datos innecesarios. Las técnicas se desarrollaron inicialmente para transmisión digital pero han sido adoptadas como medio para manipular el vídeo digital en ordenadores y reducir las necesidades de almacenamiento en los *VTRs* digitales.

#### - Compresión 'Grid'

Sistema de compresión de vídeo desarrollado y utilizado por *Quantel*, que posee la patente. Se utiliza en el sistema de edición *Newsbox* y en el servidor de vídeo *Clipbox* donde ofrece relaciones de compresión de 5:1, 10:1 y 20:1.

#### - Compresión MPEG (*MPEG: Moving Picture Experts Group, Grupo de Expertos de Películas en Movimiento*)

En la especificación *MPEG-1* y *MPEG-2* existen tres partes diferenciadas llamadas; Sistema, Vídeo y Audio. La parte de vídeo define la sintaxis y la semántica del flujo de bits de la señal de vídeo comprimida. La parte de audio opera igual, mientras que la parte Sistema se dirige al problema de la multiplexación de audio y vídeo en un único flujo de datos con toda la información necesaria de sincronismo, sin desbordar los buffers del decodificador.

El *MPEG* es un estándar definido específicamente para la compresión de vídeo. Es y será utilizado en el presente y en el futuro para la transmisión de imágenes de vídeo digital. Su algoritmo es el más eficaz de los conocidos gracias a que no sólo comprime imágenes estáticas sino que además compara los cuadros (*frames*) presentes con los futuros y los anteriores con lo que almacena solamente aquellas partes del vídeo que cambian y de ésta manera es capaz de hacer predicciones de forma matemática. Además la señal incluye también sonido en calidad digital. El principal inconveniente es que debido a su complejidad, no es posible sacarle el máximo partido en tiempo

real mediante soluciones de software, es imprescindible apoyarse en hardware específico para compresión y descompresión, y no es recomendable, en ningún caso, si lo que queremos es edición de video a través de un tratamiento digital debido a esa misma complejidad. Existen distintas opciones dependiendo del uso que le vayamos a dar. De esta manera, encontramos que el *MPEG-1* está pensado para obtener los máximos resultados siendo su soporte el Video-CD, consiguiendo calidad *VHS* con sonido digital. El *MPEG-2* es el estándar escogido para el *DVD* (*DVD*: Digital Video Disc, Disco con video digital.), el próximo estándar en Video y sustituto natural del *CDROM*, que consigue calidades superiores e incluye una serie de posibilidades que lo hacen mucho más atractivo para el mercado del video que el *MPEG-1*. El *MPEG-3* es el estándar para calidades ya importantes de video: 1.920x1.080x30Hz con transferencias entre 20 y 40 Mbit/seg. A diferencia del *MPEG-1* y 2, el planteamiento a la hora de definir el *MPEG-3* no se basa en ningún soporte, pues no existe soporte que satisfaga las necesidades del *MPEG-3*. El *MPEG-4* está en fase de desarrollo. Será el estándar para la transmisión de video entre dispositivos de muy distinta naturaleza, como transmisión móvil audio-visual, video-teléfonos, correo electrónico, bases de datos multimedia, etc. y gracias a que incluirá facilidades para la interactividad, tendrá el apoyo de aplicaciones basadas en la realidad virtual, reconocimiento o generación de imágenes por ordenador, etc. La principal característica que tendrá será sus extremadamente bajos índices de transferencia (entre 4.800 y 64.000 bits/seg), aunque su calidad no se espera que supere los 176x144x10Hz. Debido a todo esto se está trabajando en unos modelos algorítmicos completamente nuevos que posiblemente incluyan manejo de fractales extraordinariamente complejos.

#### - **MPEG 1 Layer III Audio**

Detrás de la asociación *MPEG* no se esconde otra cosa que un organismo que intenta estandarizar la compresión de video y audio según una norma universal. En el caso del *MPEG layer III*, se desprecia el video y se emplea sólo el audio.

#### - **Compresión MJPEG (MJPEG: Moving Joint Photographic Experts Group, Grupo Unido de Expertos en Fotografía en Movimiento.)**

Básicamente consiste en tratar al video como una secuencia de imágenes estáticas independientes y su compresión y descompresión mediante el algoritmo *JPEG* (*JPEG*: Joint Photographic Experts Group, Grupo Unido de Expertos en fotografía), para luego, recomponer la imagen de video. Esto se

puede realizar en tiempo real e incluso con una inversión en hardware para la codificación y descodificación mucho más económica, sin embargo, no se puede considerar realmente como un estándar de video, pues ni siquiera incluye la señal de audio. De esta manera se consigue un fichero fácilmente editable, aunque al no conseguir los índices de compresión del *MPEG*, exige que el ordenador con el que se trabaje tenga un sistema de almacenamiento con transferencias sostenidas muy superiores que cuando se trabaja con *MPEG*. Técnicamente la única limitación en cuanto a resolución e imágenes por segundo está dada, precisamente, por este sistema de almacenamiento. En la práctica es factible conseguir la calidad *SVHS* gracias a este sistema, por lo que se pueden realizar trabajos semi-profesionales de una manera sorprendentemente sencilla y rápida. Sin embargo, dadas las enormes facilidades para trabajar con *MJPEG*, se sigue empleando el sistema en el caso de que esta calidad sea insuficiente. De esta manera, se emplea para la edición off-line de películas en calidad broadcast. Los brutos (imágenes sin Compresión), que normalmente están en *Betacam* o *Digital*, se copian a *U-Matic* o *VHS* con los que se trabaja para la creación del montaje, que aunque con resoluciones menores, son suficientes para la maqueta. Una vez editado obtenemos una película con la cual realizar el montaje definitivo con las cintas originales en una sala de post-producción.

### **El estándar H.261**

El estándar H.261 fue desarrollado (antes que *MPEG*) para satisfacer la compresión de video para transmisiones de bajo ancho de banda y su aplicación más extensa es la de videoconferencia. Conocido también como *px64*, es considerado como un compresor del tipo *lossy* (con pérdida) que soporta velocidades de transmisión con múltiplos de 64 kbps, de ahí su gran difusión en videoconferencia sobre *RDSI* ( *RDSI*: Red Digital de Servicios Integrados). Consta básicamente de cinco etapas:

- Etapa de compensación del movimiento.
- Etapa de transformación (DCT).
- Etapa de cuantificación "lossy" (con pérdidas).
- Dos etapas de codificación del tipo sin pérdidas (codificación run-length y codificación de Huffman).

Se puede considerar como un subconjunto de la codificación *MPEG*, evidentemente, con una calidad bastante inferior aunque útil para sus aplicaciones.

### **Métodos de compresión de video más utilizados**

#### **- Codificación Intracuadros**

La codificación intracuadros utiliza sólo la información espacial que existe en cada cuadro de video, como esta codificación no utiliza ninguna información en el dominio del tiempo, puede ser usada para la codificación de imágenes fijas. La codificación intracuadros de señales de video resulta ser simple y no requiere de memoria que almacene cuadros precedentes o posteriores. En general este método puede ser categorizado dentro de tres tipos: codificación por predicción, codificación de la transformada, y codificación de la subbanda. Como cada tipo de codificación tiene sus ventajas, es usual que se utilicen dos o más métodos combinados. Enseguida se explicará cada uno de estos métodos.

#### **- Codificación por predicción**

La codificación por predicción es uno de los métodos mas antiguos de compresión de imágenes y está basado en el hecho de que los errores de predicción son muy pequeños cuando el pixel presente es precedido por los pixeles vecinos. La técnica de codificación por predicción codifica el valor cuantificado de la diferencia entre el valor del pixel presente y el valor predicho (error de predicción). La utilización de un gran número de pixeles contiguos para la predicción puede disminuir el error de predicción y aumentar la efectividad del método.

Aquí notamos que una técnica que produce resultados satisfactorios para imágenes fijas no necesariamente lo hará para imágenes en movimiento.

#### **- Codificación de la transformada**

Como resultado de las investigaciones realizadas durante los pasados veinte años, la codificación de la transformada ha sido elegida como un estándar mundial para compresión de imágenes fijas. El concepto básico de la codificación de la transformada es obtener una relación de compresión elevada mediante la eliminación de las redundancias a través de las transformadas ortogonales.

Partiendo de la suposición de que las características de estadística de los datos de la imagen no cambian, la transformada de Karhunen-Loeve (*KLT*: Karhunen-Loeve Transform), ha resultado ser la mejor transformada desde el punto de vista del error cuadrático. Pero debido al hecho de que las funciones fundamentales de la *KLT* deben ser enviadas al *CODEC* ya que estas funciones fundamentales son dependientes de los datos, y debido a la dificultad de la computación a gran velocidad que requiere, es impráctico la utilización de la transformada de Karhunen-Loeve (*KLT*) en las aplicaciones en tiempo real. Una transformada que es muy parecida a la transformada de Karhunen-Loeve es la transformada discreta del coseno, (*DCT*: Discrete Cosin Transform, Transformada Discreta del Coseno), que se desempeña bien aún cuando no se toman en cuenta las características estadísticas de los datos de la imagen. La transformada discreta del coseno realiza la transformada utilizando números reales y puede de esta manera emplear algoritmos de computación veloces que ya están implementados. El principio fundamental de esta técnica se explica a continuación.

La imagen de entrada es dividida en bloques de  $N \times N$  pixeles, el tamaño del bloque es escogido considerando los requisitos de compresión y la calidad de la imagen. En general, a medida que el tamaño del bloque es mayor la relación de compresión también resulta mayor, esto se debe a que se utilizan más pixeles para eliminar las redundancias. Pero al aumentar demasiado el tamaño del bloque la suposición de que las características de la imagen se conservan constantes no se cumple, y ocurren algunas degradaciones de la imagen, como bordes sin definir en la imagen. Los resultados en la experimentación han demostrado que el tamaño del bloque más conveniente es de  $8 \times 8$  pixeles. Después de dividir la imagen en bloques, la transformada discreta del coseno se aplica a cada bloque.

La transformada discreta del coseno en bi-dimensional y la transformada inversa se definen de acuerdo a las siguientes ecuaciones, obtenidas por Fourier : (ver ecuación 2.13 y 2.14).

$$F(U,V) = \frac{1}{4} C(U) C(V) \sum_{u=0}^{U-1} \sum_{v=0}^{V-1} F(I,J) \cos\left[\frac{\pi}{16} U(2I+1)\right] \cos\left[\frac{\pi}{16} V(2J+1)\right] \dots \quad 2.13$$

$$F(I, J) = \frac{1}{4} \sum_{u=0}^{n-1} \sum_{v=0}^{n-1} C(u) C(v) F(u, v) \cos\left[\frac{\pi u (2I+1)}{16}\right] \cos\left[\frac{\pi v (2J+1)}{16}\right] \dots \quad 2.14$$

En las ecuaciones,  $f(i, j)$  es el pixel con coordenadas  $(i, j)$  de cada bloque, y  $F(u, v)$  es el coeficiente de la transformada correspondiente a cada frecuencia. el factor de peso  $C(u)$  es  $1/2$  cuando  $u=0$ , y  $1$  en cualquier otro caso.  $F(0, 0)$ , que es el valor medio de los pixeles de un bloque específico, es a veces llamado el componente de DC o el componente constante.

De esta manera, el pixel  $F(i, j)$  primero es transformado en  $F(u, v)$  y después comprimido.

Los coeficientes de la transformada  $F(u, v)$  son cuantificados en base a un nivel de umbral para crear cuantos ceros sean posibles dentro del rango en el que no ocurran degradaciones en la imagen. Para garantizar continuidad entre los valores medios de los diferentes bloques, los componentes de DC son excluidos de esta cuantificación en base a un nivel de umbral y estos valores son cuantizados utilizando un tamaño de muestra pequeño. Por último, los coeficientes que se encontraban formando arreglos de dos dimensiones son reordenados para formar arreglos de una dimensión usando un barrido en zig - zag. Debido a que ocurren largas secuencias de 0's cuando se efectúa el barrido en zig - zag la eficiencia de esta codificación también se incrementa. Los coeficientes diferentes de cero y las secuencias de ceros, se codifican utilizando un libro de código definido en base a los fundamentos de las estadísticas de los datos.

Como se mencionó anteriormente, las degradaciones de las imágenes ocurren cuando el tamaño de muestra de cuantificación es muy grande, por lo que se aplican diferentes tamaños de la muestra para las diferentes partes de la imagen, para los bordes de los objetos se utiliza un tamaño de muestra pequeño y para las partes planas un tamaño de muestra mayor.

Algunas técnicas de *DCT* categorizan los diferentes bloques dentro de modelos dependiendo de las características de cada bloque y los manejan de acuerdo a las propiedades de cada modelo.

### - Codificación de la Subbanda

Aun cuando los fundamentos de la codificación de la subbanda son simples, el progreso en esta técnica para compresión de imágenes no se había logrado hasta hace poco. La codificación de la subbanda se compone de dos pasos. El primero de ellos es la filtración de la subbanda, que divide una señal de imagen en sus componentes de frecuencia, y el segundo paso es la codificación, que comprime cada banda de frecuencia de acuerdo a sus características respectivas.

La codificación de la subbanda es acompañada por un filtro de análisis en el codificador un filtro de síntesis en el decodificador, respectivamente. El filtro de análisis divide la señal de entrada en diferentes bandas de frecuencia utilizando una velocidad de muestreo diferente para cada banda. En contraste el filtro sintetizador combina las diferentes bandas de la señal para sintetizar la señal deseada. La codificación de la subbanda requiere menor tiempo de procesamiento pero utiliza más procesadores, uno para cada banda.

Después de descomponer la señal en bandas de diferente frecuencia usando el filtro de análisis, se aplica un esquema de codificación apropiado para cada banda. Ya que las características de cada banda varían considerablemente y la sensibilidad visual humana también varía de banda a banda, un mejor desempeño se obtiene al tratar a cada una de las bandas.

De acuerdo a sus características particulares, uno de los métodos más empleados es una combinación de la codificación intracuadros, de la subbanda y el de la transformada discreta del coseno, que trabaja de la siguiente manera: como se muestra en la figura 2.20, cada cuadro puede descomponerse en cuatro bandas (LL, LH, HL, HH) aplicando un filtrado y análisis en la dirección horizontal y después en la dirección vertical.

La banda LL incluye la mayoría de los datos importantes excepto las orillas y los límites, por lo tanto, es necesario minimizar las pérdidas asociadas con la codificación de esta banda en particular. Es por esto que la codificación intracuadros es empleada generalmente para la codificación de la banda LL.



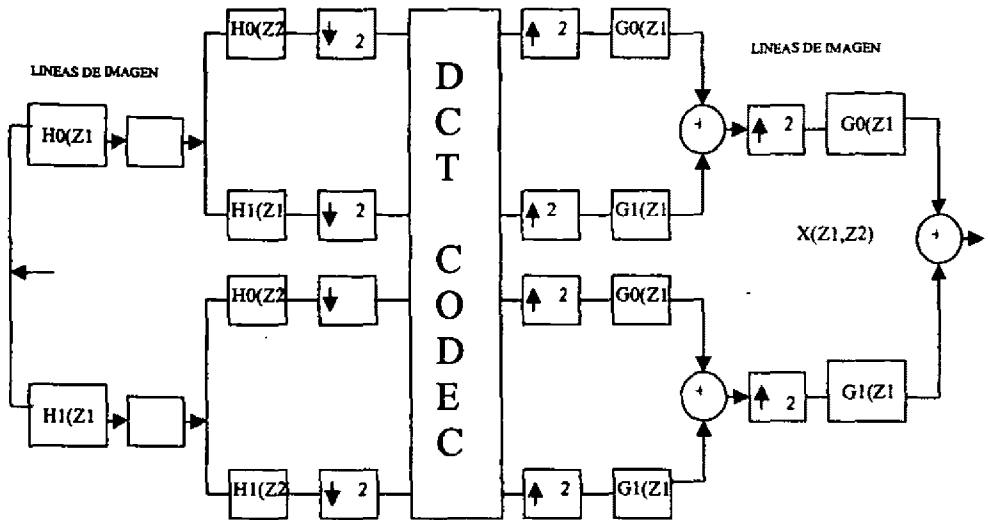


Figura 2.20. Diagrama a bloques para un método de codificación intracuadros híbrido (subbanda/DCT).

Las bandas de las frecuencias altas (LH, HL, HH) contienen la mayoría de la información de los límites de los objetos, los fondos, y las orillas, y los valores de los pixeles son generalmente menores que aquellos de la banda LL, entonces la información total contenida en estas bandas es menor que la contenida en la banda LL. Además de que los ojos humanos no son sensitivos a los cambios pequeños de los pixeles de estas tres bandas. Y partiendo de esto se puede aplicar una cuantificación no uniforme con alguna zona muerta para convertir los pequeños valores de los pixeles a cero sin que se note una degradación perceptible.

- **Codificación intercuadros**

Como se ha explicado, existen muchas redundancias entre cuadros continuos de imagen, de aquí que la mayoría de la información del cuadro presente puede ser determinada por los cuadros precedentes. Por ejemplo, en la mayoría de los casos existe una gran probabilidad de que los mismos objetos aparezcan en cuadros continuos de la imagen, y si se conoce únicamente la información relacionada con el movimiento, entonces los datos asociados con esos objetos pueden ser

codificados lógicamente en un sólo paso. Este concepto también se aplica a los fondos para lograr una mayor compresión de la información entre cuadros parecidos de una secuencia de imágenes.

En general, la porción de mayor movimiento en un cuadro, en programas de televisión o en películas, es menor al 5% de un cuadro, por lo que la estimación del movimiento es la base para minimizar redundancias temporales.

La figura 2.21, muestra la configuración de un codificador general de intercuadros. Esta configuración básica consiste de dos etapas: La primera corresponde a la estimación y compensación del movimiento, y la segunda a la compresión.

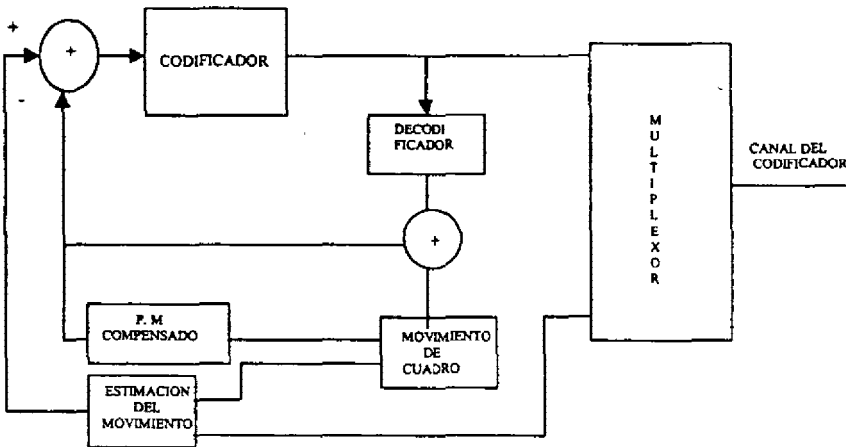


Figura 2.21. Codificador de intercuadros.

El movimiento de un objeto es estimado calculando el desplazamiento relativo entre el cuadro anterior y sus datos correspondientes en la imagen, generalmente en unidades de bloques. La diferencia entre los datos presentes y los datos pasados compensados en movimiento es codificada para ser comprimida. La compensación del movimiento es usada para reducir las redundancias temporales, y es en cierta forma similar a la codificación por predicción mencionada anteriormente, la cual predice el pixel presente a partir de los pixeles contiguos de un cuadro dado.

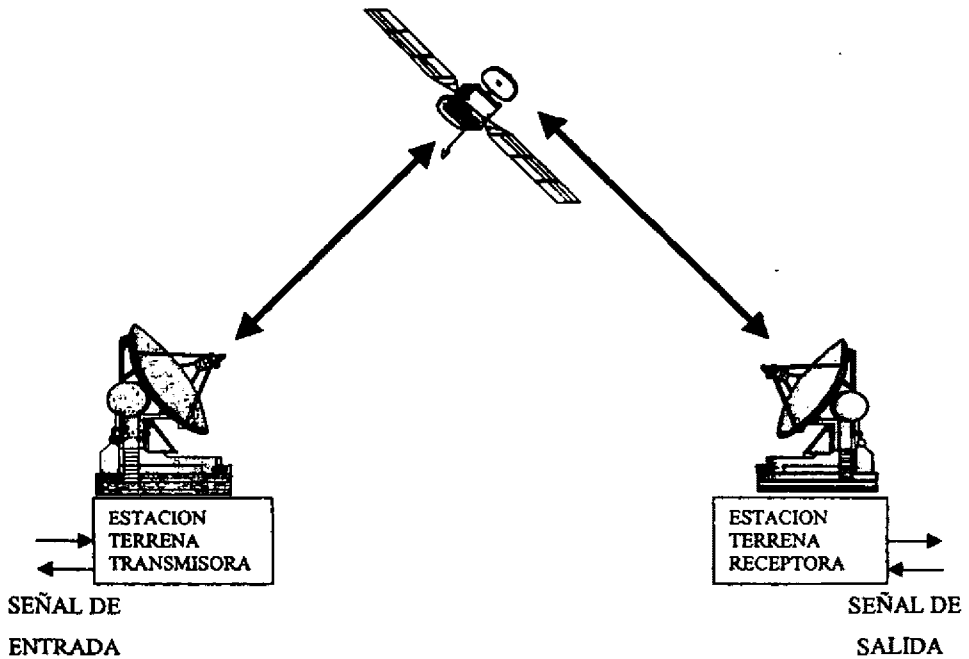
En este capítulo se vieron los principales tratamientos que lleva una señal, así como sus características más relevantes, en el siguiente capítulo trataremos la transmisión y recepción de estas señales empleando como canal de comunicación a el satélite, las diferentes maneras que hay de enviar y recibir señales en forma analógica y digital.

# **CAPITULO 3**

## **CONCEPTOS BASICOS DE COMUNICACION VIA SATELITE**

Las ondas de radio se propagan en forma rectilínea, y debido a la curvatura de la tierra no pueden recibirse en lugares muy alejados del sitio emisor. Las ondas larga y corta permitían transmisiones transcontinentales, al ser reflejadas en la capa ionosférica, pero no servían para comunicaciones de alta calidad, por otro lado se tiene que los cables submarinos transcontinentales tienen una capacidad limitada. Finalmente se cuenta con las comunicaciones vía satélites geostacionarios, tema que trataremos en el presente capítulo, comenzando con una descripción general de segmento espacial y segmento terrestre, procedemos a enunciar los subsistemas más importantes que conforman un satélite para su funcionamiento, los diferentes tipos de acceso entre una estación terrena y el satélite, y por último los protocolos de comunicación que más se utilizan para la transmisión de información por satélite.

El sistema de comunicación vía satélite está compuesto por dos elementos estrechamente ligados, las estaciones terrenas llamadas *segmento terrestre* y los satélites que se les denomina comúnmente *segmento espacial*. El mayor volumen de equipo necesario para la operación de las comunicaciones vía satélite se encuentra en las estaciones terrenas, la figura 3.1 muestra el diagrama básico de comunicaciones vía satélite. En este diagrama se puede apreciar que necesitamos de dos estaciones terrenas para que se establezca la comunicación entre ellas, y de un satélite; una de las estaciones terrenas debe ser transmisora y la otra receptora. Aunque en un sistema más completo ambas estaciones terrenas pueden ser tanto transmisoras como receptoras al mismo tiempo.



*Figura 3.1. Esquema básico de las comunicaciones via satélite.*

### 3.1 SEGMENTO TERRESTRE

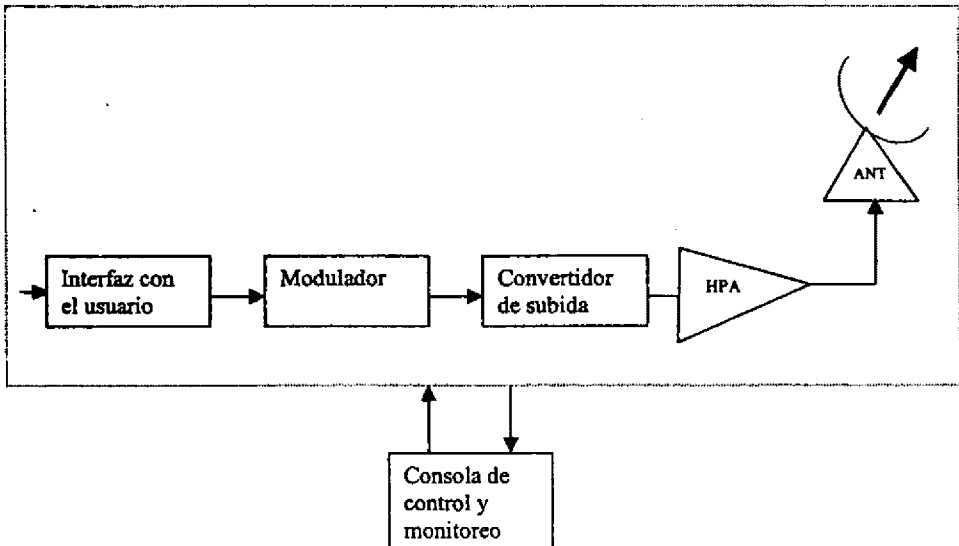
El segmento terrestre es el término con que se denomina la parte de un sistema de telecomunicaciones por satélite que está constituida por las estaciones terrenas, que transmiten a los satélites y reciben de estos diferentes señales de comunicación, y que constituyen la interfaz con las redes terrestres.

Tomando como referencia la figura 3.1, a continuación se dividirá dicho flujo en dos secciones a bloques, una de las cuales será la etapa de transmisión y la otra será la etapa de recepción, en las cuales se explica cada uno de los componentes que la integran.

**- Trayectoria de transmisión o ascendente**

En la figura 3.2 se muestra el diagrama a bloques correspondiente a la sección de transmisión, la cual consta de:

- Interfaz de usuario.
- Modulador.
- Convertidor de subida.
- Amplificador de alta potencia (HPA).
- Antena.
- Consola de control y monitoreo.



*Figura 3.2. Diagrama a bloques de la trayectoria de transmisión.*

**- Interfaz de usuario**

Este bloque es de análisis común entre transmisión y recepción, pues su función es la de interconectar la información del usuario al sistema satelital.

**- Modulador**

Combina la forma de la señal original con la señal portadora, modificando el ancho de banda de frecuencias y la posición de la información dentro del espectro radioeléctrico, la cual es transferido a frecuencias más altas; este paso de la señal modulada a frecuencia intermedia (generalmente en 70 o 140 MHz) es el primero en su ascenso de conversión a microondas.

**- Convertidor de frecuencia de subida**

El convertidor de subida transfiere a la señal de frecuencia intermedia a una posición dentro del espectro radioeléctrico en donde las nuevas frecuencias que la integran son mucho más altas que cuando salieron del modulador (aproximadamente en 6 o 14 GHz para banda C o Ku respectivamente).

**- Amplificador de potencia**

El sistema de HPA es utilizado como la etapa final de amplificación en la trayectoria de transmisión y su función es asegurar un nivel de portadora adecuado, para la comunicación vía satélite.

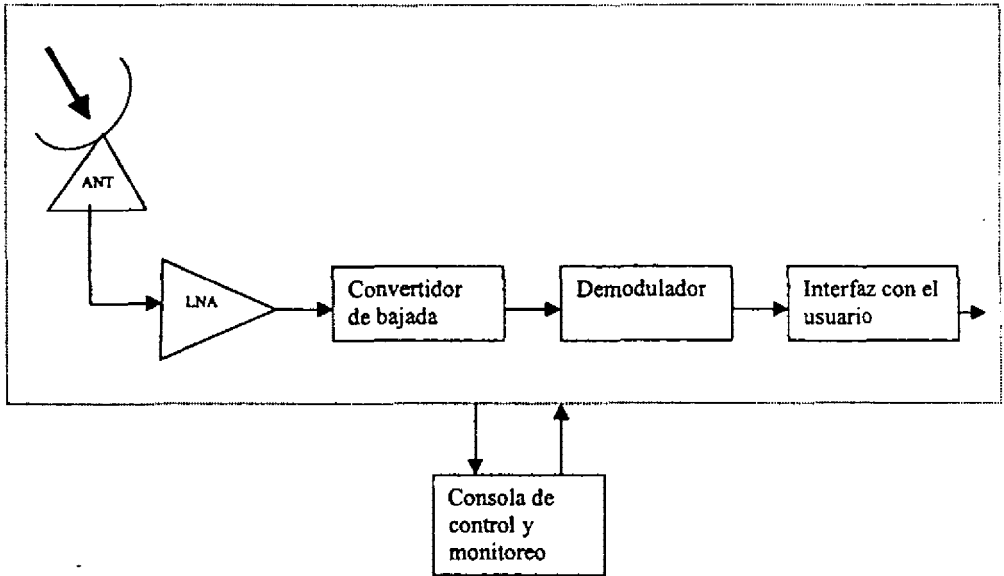
**- Antena**

Este subsistema es común tanto en transmisión como en recepción y su función es la de concentrar energía en una dirección al satélite, asegurando la adaptación entre los equipos radioeléctricos y el medio de propagación.

**Trayectoria de recepción o descendente**

En la figura 3.3 se muestra el diagrama correspondiente a la sección de recepción o descendente, detallándose a continuación:

- Interfaz de usuario.
- Demodulador.
- Convertidor de bajada.
- Amplificador de bajo ruido (LNA).
- Antena.



*Figura 3.3 Diagrama a bloques de la trayectoria de recepción.*

**- Interfaz de usuario**

Es lo mismo que para la trayectoria de transmisión ascendente vista anteriormente.

**- Amplificador de bajo ruido (LNA)**

El amplificador de bajo ruido tiene como función amplificar la señal recibida del satélite a través de la antena con una contribución mínima de ruido.

**- Convertidor de bajada**

Se refiere al equipo en donde una señal de radio frecuencia, que es recibida del satélite es convertida a una señal de frecuencia intermedia. Normalmente el intervalo de frecuencias que se trabaja para la recepción en la banda Ku es de 11.7 a 12.2 GHz y para la banda C es de 3.7 a 4.2 GHz.



**- Demodulador**

Es el que efectúa el proceso inverso del subsistema modulador.

**- Consola de control y monitoreo**

Su función es la de asegurar las interconexiones entre los diferentes subsistemas por medio de líneas de radiofrecuencia, del combinador, del divisor y del conmutador; además, realiza las ordenes de mando en particular para asegurar la redundancia deseada.

**Estaciones terrenas**

Las estaciones terrenas comprenden todo el equipo terminal de un enlace por satélite, se clasifican en diferentes categorías. Dependiendo del servicio que presten, podemos encontrar estaciones terrenas para el servicio de satélite fijo y estaciones terrenas móviles, así como estaciones terrenas móviles transportables, como lo muestra la figura 3.4.

**- Estaciones terrenas fijas**

Este tipo de estaciones terrenas son las que se encuentran situados en determinado lugar y no se pueden mover, su única posibilidad de cambio es de satélite, si la antena así lo permite.

**- Estaciones terrenas móviles**

Como su nombre lo indica este tipo de estaciones son las que tienen la capacidad de enlazarse con el satélite cuando están fijas o en movimiento. A este tipo de estaciones pertenecen las que operan en banda L y que se instalan en vehículos automotores, aviones y barcos.

**- Estaciones terrenas móviles transportables**

En este apartado quedan todas aquellas estaciones, sea cual sea la banda a que trabajen, que pueden transportarse por medios terrestres, aéreos o marítimos hasta el lugar donde se requiere el enlace al satélite, y que generalmente son de dimensiones pequeñas pero que nunca podrán trabajar en movimiento.

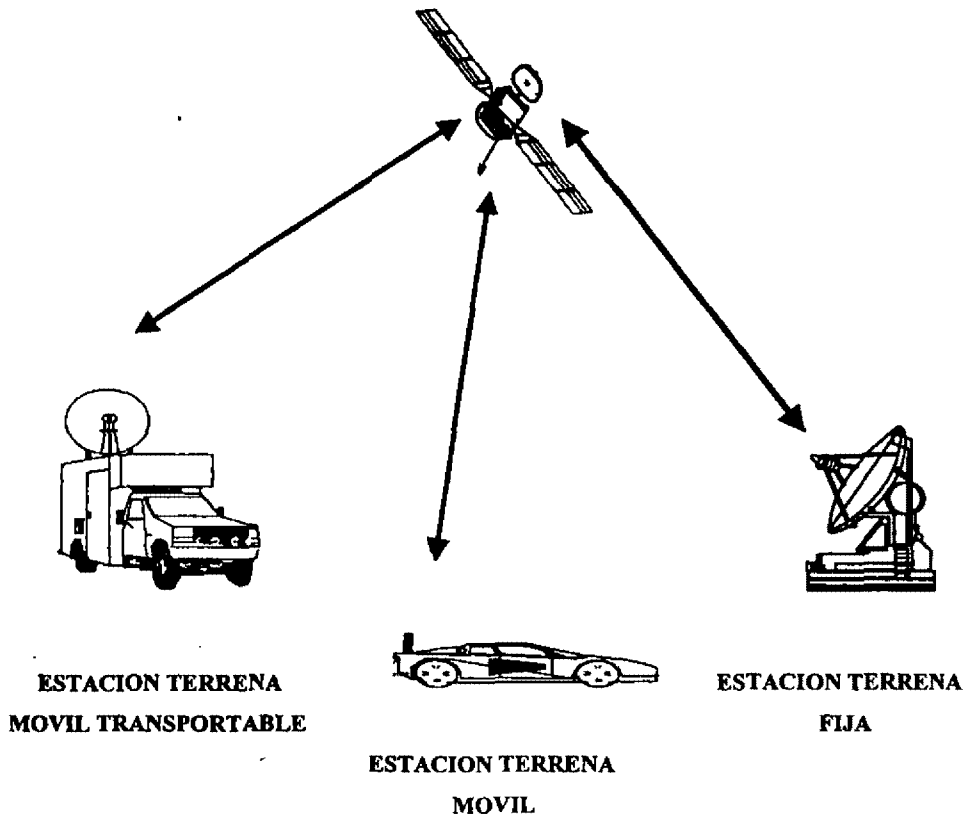


Figura 3.4. Tipos de estaciones terrenas.

### 3.2 SEGMENTO ESPACIAL

Es conveniente presentar en esta parte algunos de los conceptos que nos permiten visualizar, en forma general, el segmento espacial y los elementos o los subsistemas principales que lo constituyen.

El segmento espacial de un sistema de comunicaciones vía satélite consiste en los satélites y en las facilidades en tierra que efectúan las funciones de telemetría, comando y seguimiento, así como el apoyo logístico para los satélites.

### **El satélite**

Podemos definir a un satélite como un repetidor fijo situado en el espacio, y como tal, puede utilizarse ventajosamente para asegurar las comunicaciones entre diferentes países o dentro de un mismo país. Este elemento es el núcleo de la red y realiza la función de un reemisor radioeléctrico situado en el espacio. Comprende un conjunto de diversos subsistemas de telecomunicación y antenas que le permiten desempeñar sus diversas funciones.

Actualmente la mayor parte de los satélites comerciales han sido colocados en una órbita circular a una altitud de 35,800 km.

#### **- Lanzamiento y colocación en órbita**

La tierra gira sobre su propio eje, completando una vuelta cada 24 hrs, al colocar a un satélite de tal forma que gire circularmente alrededor de ella en un plano imaginario que la atravesase por el círculo ecuatorial, y si el satélite también completa una vuelta en 24 hrs, entonces, para un observador sobre un punto fijo de la tierra, se produce la ilusión de que el satélite no se mueve.

Esta fue la idea de Arthur C. Clarke en 1945; la idea es muy buena y debían cumplirse los siguientes requisitos:

Primero el satélite debía desplazarse en el mismo sentido de rotación de la Tierra. Además para que no pierda altura poco a poco y pueda completar una vuelta cada 24 hrs, debía estar aproximadamente a 36000 km de altura sobre el nivel del mar, para lograrlo, el satélite debía tener una velocidad constante de 3057 m/s, siguiendo una órbita circular alrededor de la tierra, como se observa en la figura 3.5.

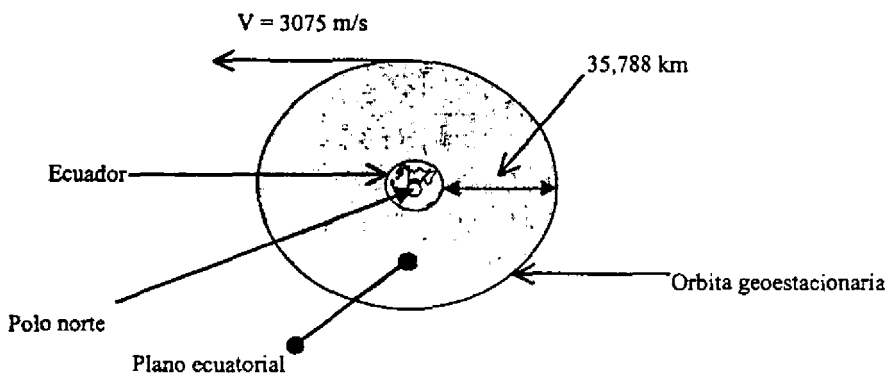
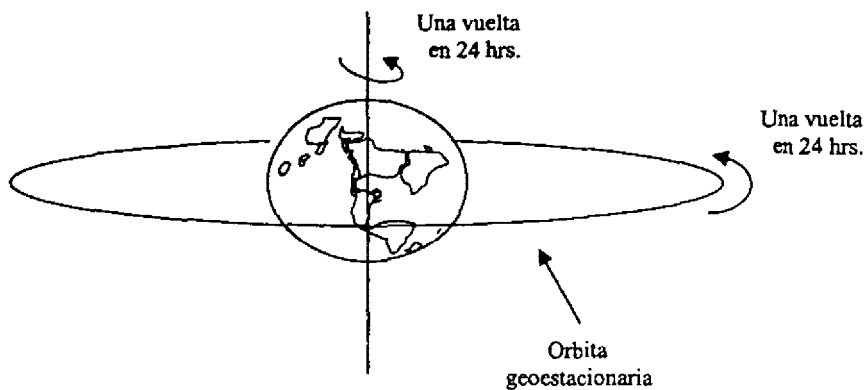


Figura 3.5. Cinturón de Clarke.

A ésta se le llamo órbita geoestacionaria, pero muchos autores se refieren a ella como cinturón de Clarke en reconocimiento a su autor. En la actualidad es la órbita más congestionada alrededor de la tierra, por su sencillez y bajo costo.

### **- Como llegar a la órbita geoestacionaria**

En teoría el número de tipos de órbitas en los que un satélite se puede colocar alrededor de la tierra es infinito, pero la más codiciada y utilizada es la geoestacionaria. Para llevar un satélite a esta órbita tan especial existen tres procedimientos distintos, los cuales se describen a continuación.

- **Inyección directa en órbita geoestacionaria**

En este caso, el satélite es transportado por un cohete de varias etapas hasta el cinturón de Clarke, sin que necesite esfuerzos propios. La inyección directa en órbita geoestacionaria 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, la probabilidad de que llegue a su destino aumenta.

- **Inyección inicial en órbita elíptica**

En este procedimiento las etapas del sistema lanzador colocan al satélite en una órbita elíptica de gran excentricidad, es decir, 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 transferencia geosíncrona, hasta que se lleve a cabo la siguiente etapa del proceso, ya con esfuerzos propios del mismo.

El perigeo de la órbita de transferencia geosíncrona está normalmente a una altura de 300 km sobre el nivel del mar y su apogeo cerca de los 35,788 kms, que es la altura final en la que el satélite debe quedar para funcionar.

El paso siguiente es la circularización de 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; este motor se enciende a control remoto, y cuando esto sucede el satélite recibe un incremento de velocidad y su órbita cambia de la elíptica a la geoestacionaria, ver figura 3.6.

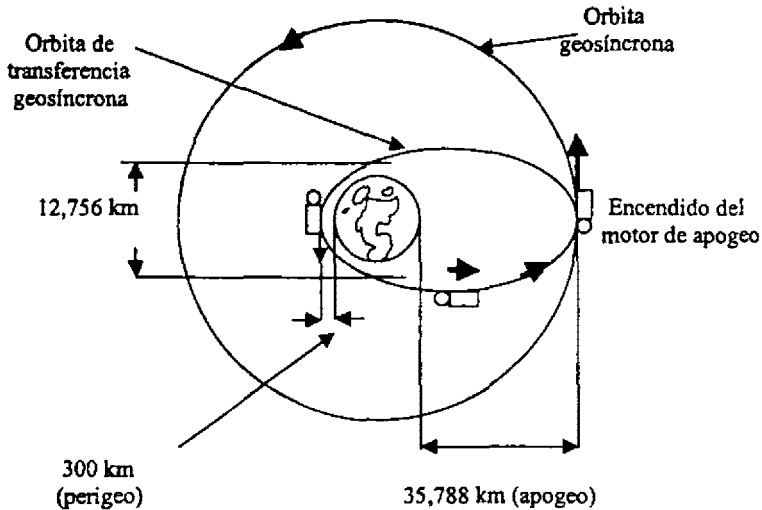


Figura 3.6. Inyección inicial en órbita elíptica.

- **Inyección inicial en órbita baja**

Consiste en tres pasos, los dos primeros son idénticos al caso anterior, y el tercer paso es el siguiente:

El orbitador despegue 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 300 kms sobre el nivel del mar, ésto se muestra en la figura 3.7.

En una de las muchas vueltas que da la nave, el satélite es liberado del compartimento de carga. La separación se realiza 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, su motor de perigeo se enciende. Este le da un empuje tal que modifica su órbita, cambiándola de circular baja o estacionamiento a una elíptica similar a la anterior.

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.

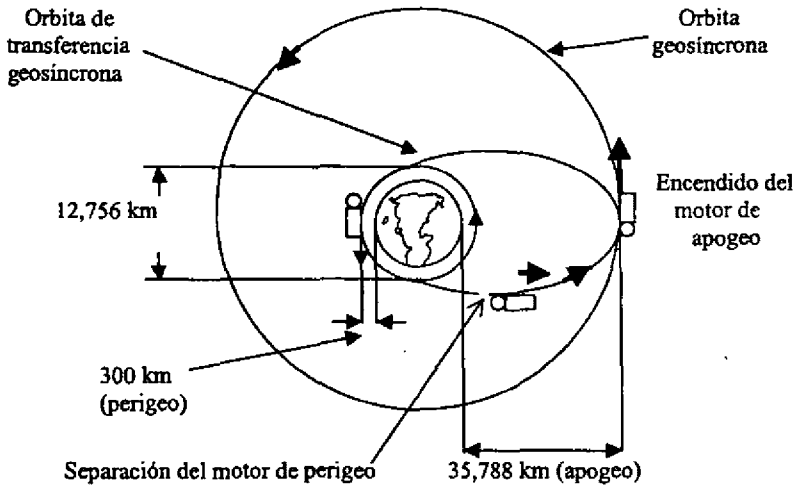


Figura 3.7. Inyección inicial en circular baja.

### El satélite y el medio ambiente en el espacio

Mientras el satélite se mueve dentro de una caja imaginaria que mide 70 kilómetros y no se salga de ésta, no existen problemas pero hay que rastrearlo constantemente para observar su posición y encender el subsistema de propulsión para que no se salga y regresarlo dentro de la caja. Para esto se necesita contar con un centro de control computarizado que permita mantenerlo dentro del rango, ver figura 3.8.

Cada vez que el subsistema de propulsión se enciende, gasta combustible y poco a poco los tanques de almacenamiento se van gastando; cuando se gasta el combustible el satélite se sale de la caja imaginaria y ya no es posible maniobrarlo causando interferencia o provocando problemas en tierra

por lo que su vida útil se termina y tiene que apagarse, para no causar problemas. La vida útil del satélite depende en gran medida de que los operadores en tierra administren el combustible de los tanques de almacenamiento del satélite.

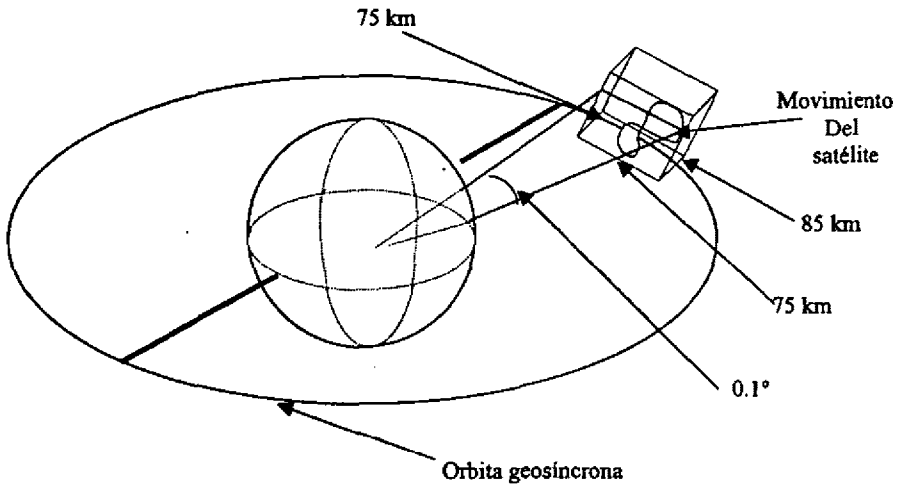


Figura 3.8. Cubo imaginario de aproximadamente 70 km por lado.

Los canales de transmisión con que cuenta el satélite se denominan *transpondedores*; éstos se encargan básicamente de recibir señales provenientes de las estaciones terrenas y, después efectúan la conversión de frecuencias. La conversión de frecuencia se refiere a la modificación que se realiza sobre la señal de comunicación a su paso por el satélite; lo anterior lo efectúa para que no se interfieran las señales que llegan al satélite con las que salen de él, esto es, recibe en 6 y 14 GHz y las baja en 4 y 12 GHz para banda C y Ku respectivamente, posteriormente la amplificará y realizará el cambio de polaridad, esto es, si recibe las señales en polaridad horizontal las transmiten a tierra con polaridad vertical, y viceversa.



Las antenas asociadas con estos transpondedores están diseñadas especialmente a fin de proporcionar cobertura a las regiones de la tierra comprendidas dentro de la zona de servicio del sistema de satélites.

### **Telemetría, comando y seguimiento**

Estos subsistemas se emplean para realizar desde tierra, en apoyo logístico de los satélites, las siguientes operaciones:

#### **- Telemetría de diversas funciones a bordo**

Comprende las mediciones hechas sobre los parámetros de operación, navegación del satélite a control remoto.

#### **- Comando de diversas funciones a bordo**

Aquí se utilizan las radiocomunicaciones para la transmisión de señales radioeléctricas a una estación espacial destinadas a iniciar, modificar o detener el funcionamiento de los dispositivos situados en el satélite.

#### **- Seguimiento**

Seguimiento de la posición del satélite (posición angular y distancia) y supervisar el funcionamiento de la estación espacial cuando se coloca en órbita y después durante su vida útil.

Supervisión de las funciones de telecomunicación, en especial de las portadoras en los diversos transpondedores. Esta función se utiliza para verificar el funcionamiento de la red y garantizar que las emisiones procedentes de las estaciones terrenas cumplan con las especificaciones de potencia, frecuencia, etc. Estas funciones las realiza específicamente y en concreto el centro de control y telemetría.

### 3.3 TECNOLOGIA BASICA DE LOS SATELITES

#### Subsistemas de un satélite

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 vive, y desde luego poder comunicarse con la tierra.

En la Figura 3.9 se muestra las partes de un satélite.

Los subsistemas más importantes para un satélite son:

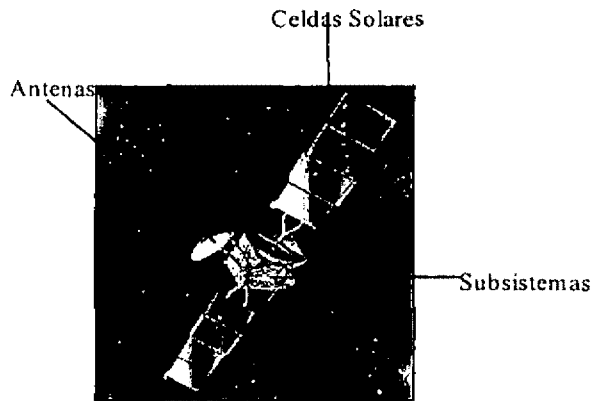
- Telemetría, Comando y Rango.
- Potencia.
- Orientación.
- Propulsión.
- Térmico.
- Comunicaciones.

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

#### - Subsistema Telemetría, Comando y Rango (TCyR)

Este subsistema recibe instrucciones para modificar o para informar el estado de los diferentes subsistemas que componen al satélite, envía señales de telemetría para informar el estado de los diferentes subsistemas, así como también hace un rastreo automático para detectar el nivel de señal que genera una estación terrena para controlarlo y dirigirlo.

Un flujo de telemetría es destinado para conducir la señal de rango con la cual permite realizar la medición de distancia entre la estación terrena y el satélite.



*Figura 3.9. Estructura y subsistemas de un satélite.*

Para seleccionar un *CTR* (*CTR*: Command Track Receiver, Receptor de Comandos y Seguimiento) existe lo que se denomina grupos de tonos (que consta de tres frecuencias que se utilizan para indicar los 1 y los 0 lógicos, y para indicar la ejecución de un comando cargado en el satélite) los cuales se determinan en la tierra.

El *CTR* tiene la posibilidad de acceder a cualquiera de los decodificadores o registro donde será almacenado el comando o instrucciones generadas desde la tierra.

Las antenas de los satélites han evolucionado hasta llegar a ser un factor importante en el diseño y peso de cada sistema. Las antenas reciben las señales de radiofrecuencia procedentes de las estaciones terrenas transmisoras, y después de que son procesadas en el satélite las transmite de regreso a la tierra concentradas en un haz de potencia.

Las antenas son, al mismo tiempo, el puerto de salida y entrada del interior del satélite; son la etapa de transformación entre las señales electromagnéticas que viajan por el espacio y las señales que circulan dentro de varios de sus subsistemas.

Las hay de distintos tamaños, configuraciones y acabados, según las frecuencias a las que tengan que trabajar y la cobertura que deban tener de ciertas zonas geográficas de la tierra.

La forma y número de antenas depende del tipo de satélite que sea y el uso que se le dé; por ejemplo, en el MORELOS las antenas con las que cuenta el subsistema de Telemetría Comando y Rango son dos, la antena omnidireccional y la antena de reflector parabólico, esta última es usada en la operación nominal del satélite.

Las señales son enrutadas por medio de la guía de onda hacia el modulador de ferrita, el cual produce una modulación en amplitud proporcional al error de apuntamiento de la antena de reflector con respecto a una referencia que es fijada desde la tierra.

#### **- Subsistema de Potencia**

Para funcionar adecuadamente, todos los satélites necesitan un suministro de energía eléctrica sin interrupción y sin variaciones significativas en los niveles de voltaje y corriente. La cantidad de potencia depende de las características de operación y normalmente varía entre los 500 y los 200 Watts, dependiendo de la capacidad del canal, además la potencia debe ser ininterrumpida por más de 7 años.

El subsistema de potencia consiste en tres elementos fundamentales: una fuente primaria, una fuente secundaria y un acondicionador de potencia; este último está integrado por dispositivos como reguladores, convertidores y circuitos de protección, que permiten regular y distribuir la electricidad con los niveles adecuados a cada una de las partes del satélite.

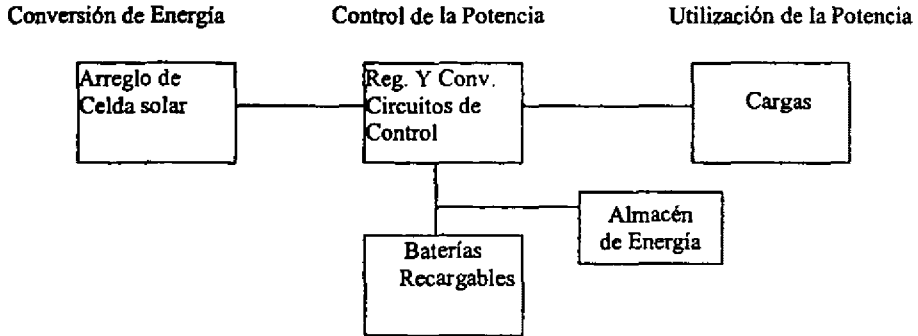
En la figura 3.10 se representa la Configuración básica del sistema de potencia del satélite basado en el uso de paneles solares.

#### **- Conversión de energía**

- **Celdas solares**

La celda solar trabaja básicamente bajo el principio del efecto voltaico y convierte la radiación incidente solar en energía eléctrica. Las celdas solares se han hecho utilizando diferentes materiales,

pero se han utilizado las de Silicio, debido a que ningún otro material ofrece tantas ventajas de duración y eficiencia como éste.



*Figura 3.10. Configuración básica del Sistema de Potencia de un satélite.*

La celda consiste de una película delgada de cristal de silicio (tipo-p) en la cual la unión (superficie) es formada por fósforo (tipo-n).

La eficiencia de una celda solar decrece en función del tiempo en el espacio.

En la selección de celdas solares se deberá considerar:

- Capacidad y aceptación de potencia para rangos altos.
- Gran número de ciclos de carga y descarga.
- Alta eficiencia en la carga.
- Buen hermetismo para prevenir la fuga o degradación del electrolito en las baterías, así como la corrosión, además de soportar presiones y temperaturas altas.
- Posibilidad de operación en cualquier posición.

En los satélites que usan la radiación solar, se utilizan baterías recargables como fuente continua de poder, por ejemplo para poder alimentar al satélite en temporadas de eclipse o bien cuando no hay luz solar, que es cuando demanda la potencia almacenada en ellas.

### - Sistema del control de potencia

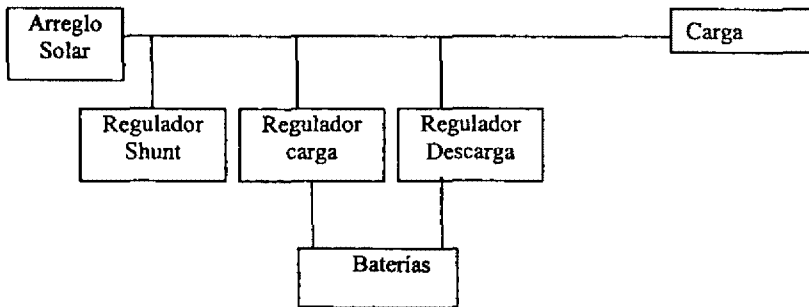
El sistema de control de potencia se encuentra formado por dos sistemas, que son: disipativos y no disipativos.

Los disipativos son aquellos que no extraen la máxima potencia del arreglo solar. Están clasificados en dos tipos dependiendo de la naturaleza del *bus* de voltaje:

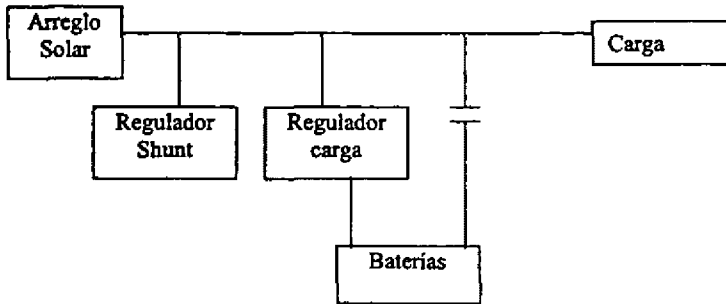
- *Bus* regulado.
- *Bus* no regulado.

En la figura 3.11, inciso (a), se presenta el esquema de un sistema disipativo del tipo bus regulado. El regulador *Shunt* mantiene el voltaje de *bus* constante. Usualmente este voltaje corresponde a la máxima potencia de degradación del arreglo solar en las temperaturas más altas. Gran parte de potencia en este punto está dividida entre la carga y el cargador de baterías.

En la figura 3.11, inciso (b), el regulador *Shunt* entra en acción al término de la carga de la batería para protegerla de la sobrecarga.



(a)



(b)

Figura 3.11. (a) Esquema de un sistema disipativo del tipo bus regulado: (b) Esquema de un sistema disipativo del tipo bus no regulado.

Los sistemas no disipativos extraen la máxima potencia del arreglo solar y por lo tanto disipa menos potencia intrínseca, se tienen sistemas de potencia de bus regulado y no regulado.

Los reguladores son clasificados en:

**Disipativos:** En este tipo de reguladores la disipación está en función del voltaje de entrada, del voltaje de salida y las fluctuaciones de carga. Este tipo de reguladores presentan un rizo bajo y pueden ser divididos en tipo serie y tipo *Shunt*.

**No disipativos:** Este tipo de reguladores opera bajo el modo de conmutación, resultando una alta eficiencia y pueden ser construidos muy ligeros y pequeños. Su voltaje de salida puede ser más grande, igual o menor que el voltaje de entrada.

#### - Subsistema de orientación

Este sistema provee el control de orientación del eje de giro y estabilización del satélite, el control de velocidad, así como el control del apuntamiento de las antenas.

Para la orientación del satélite se puede utilizar una variedad de sensores, de los cuales los más comunes son los del sol y la tierra, estos son dispositivos fotovoltaicos en los que se produce una corriente eléctrica cuya magnitud depende de la dirección de la radiación solar sobre ellos, se mide un ángulo entre la dirección en la que se halla el sol y uno de los ejes del cuerpo del satélite y si el satélite cambia su orientación, los sensores van detectando esa variación.

El procedimiento de corrección de la posición y orientación del satélite se basa en comparar los resultados de las mediciones de los sensores con ciertos valores de referencia considerados como correctos. Estas maniobras son ejecutadas desde la tierra.

Los errores de orientación y su corrección que experimentan los satélites son los siguientes:

Precisión, que es debido al viento solar que tiende a tirar al satélite inclinando su eje de giro, es decir, se produce un "torque solar" y la corrección se realiza encendiendo un impulsor axial.

Error de inclinación de órbita del satélite es causado por efectos gravitacionales de la luna, tierra y el sol, su corrección se realiza encendiendo los impulsores axiales en el nodo descendente.

Error Este-Oeste, es el deslizamiento que sufre el satélite en su longitud orbital, es decir, sufre un corrimiento. Esto es debido a que la masa de la tierra no es uniforme por lo que actúan fuerzas de diferentes tipos sobre el satélite. Su corrección se realiza mediante el encendido de algunos de los impulsores radiales.

#### **- Subsistema de Propulsión**

Este sistema ejecuta las maniobras de control de orientación, velocidad de giro, velocidad de órbita, e inclinación de órbita del satélite, en respuesta a sensores internos o a los comandos de tierra. Cuando es comandada la válvula del propulsor, ésta se abre dejando salir la hidracina presurizada hacia el propulsor, el cual catalíticamente descompone la hidracina para producir el empuje. El combustible está contenido en diferentes tipos de tanques de aleación ligera de titanio, una vez conectados a través de una válvula de paso permite la transferencia de combustible que esté disponible para cualquiera de los propulsores.



La capacidad del combustible debe ser suficiente para soportar la vida de la misión, que es de aproximado 10 años.

#### **- Subsistema Térmico**

Este subsistema tiene como objetivo mantener el balance y el control térmico en el satélite. Lo anterior se logra por medio de calentadores, cobertores o protectores y sensores que nos permiten monitorear vía telemetría la temperatura, Estos dispositivos se encuentran ubicados en puntos estratégicos a lo largo del cuerpo del satélite, utilizando el criterio de absorción/disipación de calor que tiene cada unidad.

El control pasivo de la temperatura es obtenido a través del uso de materiales probados en misiones espaciales.

#### **- Prelanzamiento / Ascenso**

Durante el prelanzamiento y el ascenso el ambiente térmico es controlado mediante el sistema de aire acondicionado del transbordador espacial. Cuando se abren las puertas del contenedor y el protector solar continua cerrado, el satélite se encuentra desenergizado, por lo que experimentará las más altas temperaturas si el contenedor está de frente al sol y las más bajas si está de frente al espacio.

#### **- Órbita de transferencia**

Durante la órbita de transferencia el ambiente térmico del satélite se controla mediante la correcta selección de ventanas de lanzamiento, el manejo eficiente de potencia de las cargas y el aislamiento del ambiente térmico inducido por el motor de apogeo.

#### **- Órbita Sincrona**

Las condiciones ambientales que afectan el control térmico del satélite en su órbita geosíncrona son principalmente la energía solar incidente y la variación en la intensidad de esta fuente de energía debido a los cambios de temporada.

El control de la energía solar incidente se realiza mediante la optimización de los terminados de las superficies externas del satélite.

#### **- Subsistema de Comunicaciones**

Las señales de comunicaciones (telefonía, televisión e información digital) recibidas por los satélites entran a él a través de sus antenas, y ellas mismas se encargan de retransmitir toda esa información hacia la tierra después de procesarla debidamente.

Los principales pasos del proceso son amplificar las señales a un nivel de potencia adecuado, para que puedan ser recibidas de regreso con buena calidad, así como cambiarlas de frecuencia para que salgan por el conjunto de antenas sin interferir con las señales que están llegando simultáneamente.

El subsistema de comunicaciones realiza estas funciones mediante filtros, amplificadores, convertidores de frecuencia, conmutadores y multiplexores, estos equipos se instalan repetidos, o sea, existe un bloque de respaldo por si alguno llegase a fallar automáticamente entraría en operación el respaldo, por medio de conmutadores que hacen el cambio de un elemento a otro.

#### **- Transponder**

Es la trayectoria completa de cada repetidor, comprendiendo todos sus equipos desde la salida de la antena receptora hasta la entrada de la antena transmisora. Por lo que un subsistema de comunicaciones consta de muchos transponders, y su número depende del diseño del satélite. En la figura 3.12 se muestra el subsistema de comunicaciones.

La señal proviene de la tierra que entra por la antena receptora puede tener muchos canales de televisión o miles de canales telefónicos etc. , todos ellos enviados en frecuencias diferentes (al rango de frecuencias que hay entre frecuencias más bajas y las más altas que se transmiten se le da el nombre de ancho de banda). Cuando mayor sea el ancho de banda de un equipo, éste será más capaz de trabajar de igual forma dentro de un mayor rango de frecuencias.

Las antenas receptoras y transmisoras tienen un ancho de banda muy grande, suficiente para operar a las frecuencias asignadas para los satélites de comunicaciones, cuya mayor parte funciona en las

bandas de frecuencia C y Ku. En cada una de estas bandas el ancho de banda de operación es de 500 MHz para transmisión y 500 MHz para recepción.

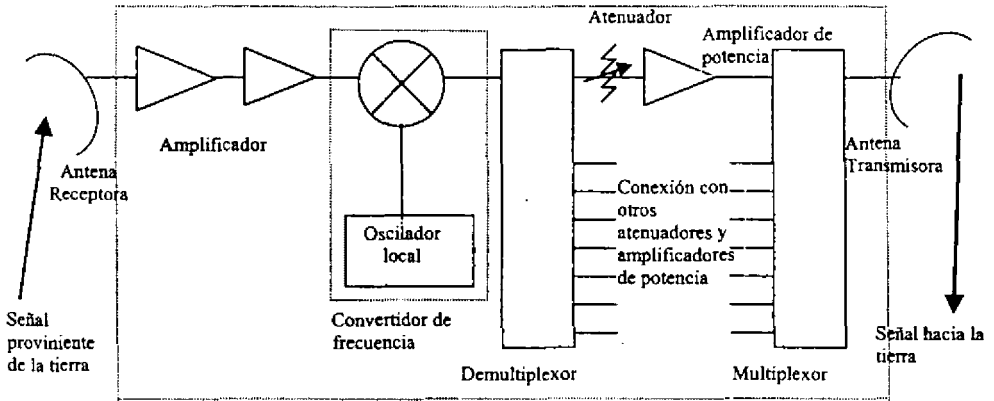


Figura 3.12. Subsistema de comunicaciones.

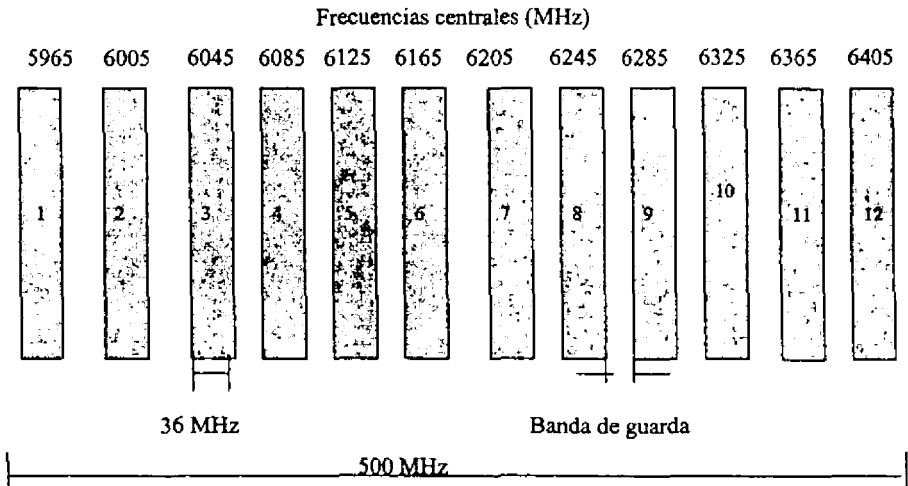


Figura 3.13. Configuración del espacio de frecuencia de un transponder de 36 MHz.

Por conveniencia el ancho de banda de 500 MHz se divide en espacios o ranuras, el número depende de la aplicación del satélite, por lo general se divide en doce ranuras o espacios iguales de 36 MHz de ancho de banda cada uno, como lo muestra el dibujo de la figura 3.13. Entre cada ranura se deja un espacio adyacente para disminuir la posibilidad de interferencia entre señales que cada uno contiene. Esta división del ancho de banda del satélite es por la difícil amplificación de las señales al mismo tiempo, por lo que son aisladas, para procesarlas y amplificarlas por separado.

### 3.4 TECNICAS DE ACCESO AL SATELITE

Los satélites de comunicaciones permiten el diseño de redes conmutadas sin necesidad de conmutadores físicos. En tierra, si se quiere establecer centros de conmutación hay que alquilar líneas y unirlos mediante componentes físicos. Por lo contrario, cuando dos estaciones se comunican a través del transpondedor de un satélite, y puesto que ambas transmiten y reciben por los mismos canales, cada estación sólo necesita escuchar la frecuencia del canal de bajada para saber si una transmisión va dirigida a ella. Si no es así, simplemente ignorará la señal, mientras que si es ella la destinataria copiará la señal y la entregará al usuario final. El problema en el satélite es como hacer para localizar los canales a usar cuando los usuarios están muy separados en la superficie terrestre y cuando la demanda de canales de comunicación varía constantemente. La solución consiste en emplear técnicas de acceso múltiple al satélite, es decir, varias estaciones remotas puedan servirse del satélite para manejar su tráfico de comunicaciones regular, a lugares muy distantes.

Para llevar a cabo el acceso múltiple es necesario que todas las estaciones terrenas interesadas en enlazarse proyecten el haz de su señal hacia el satélite, así éste puede concentrar todas las estaciones y seleccionar un camino mediante su equipo para establecer el enlace. Las técnicas de acceso al satélite son las siguientes:

- Acceso múltiple por división de frecuencia.
- Acceso múltiple por división de tiempo.
- Acceso múltiple por división de código.
- Acceso múltiple por demanda asignada.
- Acceso múltiple en forma asignada.

**Acceso múltiple por división de frecuencia**

Las comunicaciones y compartición de información entre los satélites y las estaciones terrenas pueden controlarse de diferentes formas. *FDMA* ( *FDMA*: Frequency Division Multiple Access, Acceso Múltiple por División de Frecuencia ) es un caso particular de la técnica de multiplexación por división de frecuencia ( *FDM*: Frequency Division Multiplexing, Multiplexaje por División de Frecuencia). En donde el ancho de banda total del canal del transpondedor se divide en porciones de banda que se asignan a las distintas estaciones, permitiendo transmitir un número diverso de portadoras a diferentes frecuencia con anchos de banda no traslapados, dentro de los cuales pueden enviar todo el tráfico que se desee, como lo muestra la figura 3.14. Este método presenta dos inconvenientes. Por un lado es necesario utilizar gran parte del ancho de banda del transpondedor como banda de resguardo para evitar que los canales adyacentes se interfieran. Por el otro, si existen estaciones que no transmiten constantemente, se desperdicia gran parte del ancho de banda, ya que muchos subcanales permanecen vacíos.

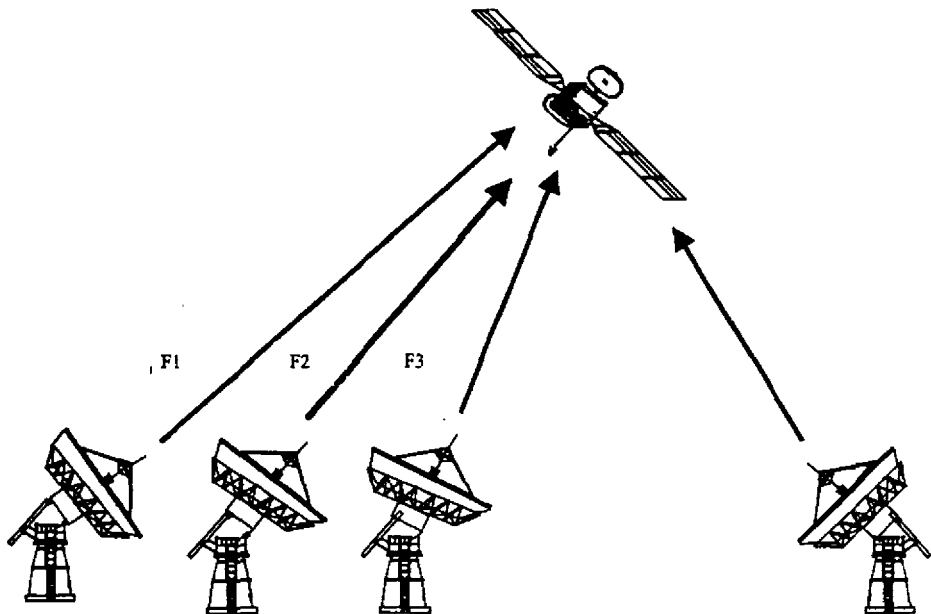


Figura 3.14. Concepto de un sistema *FDMA*.

### Acceso múltiple por división de tiempo

Inicialmente se empleó el multiplexado por división de tiempo *TDM* (TDM: Time Division Multiplexing, Multiplexaje por División de Tiempo) una técnica muy parecida a *TDMA* (TDMA: Time Division Multiple Access, Acceso Múltiple por División de Tiempo). Consiste en enviar la información dividida en tramas; a cada una de las estaciones terrenas se le permite transmitir una trama a una alta velocidad por un breve periodo de tiempo o el que necesite, dependiendo de las necesidades de cada estación, encontrándose estas perfectamente sincronizadas, procediendo a su separación del lado receptor, como se aprecia en la figura 3.15. Esta técnica presenta una limitación, dado que la capacidad del canal se asigna previamente a cada usuario potencial, el canal se desaprovecha si hay estaciones que no transmiten con regularidad.

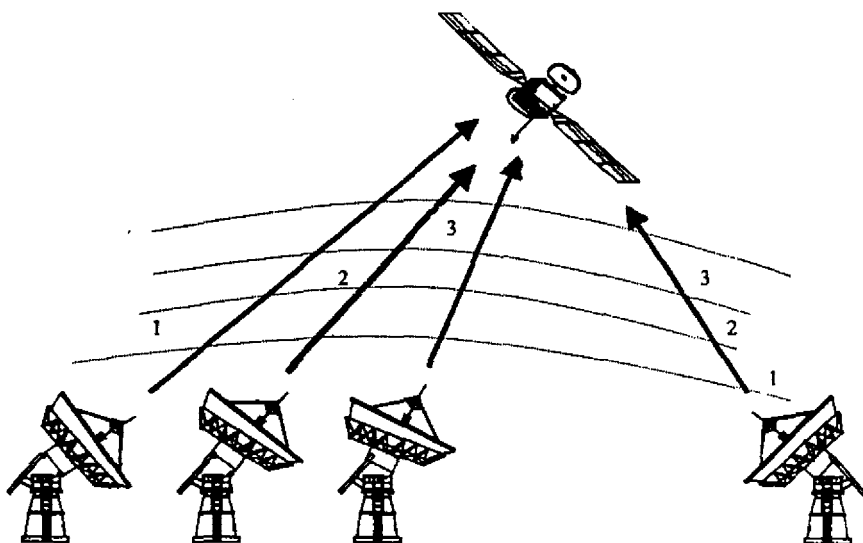


Figura 3.15. Configuración TDMA típica.

Para contrarrestar la limitante anterior se desarrolló una nueva técnica de acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) que integra un sistema principal/secundario sin sondeo. Esta técnica asigna tramas o ranuras según va haciendo falta a cada estación que lo solicite. Para esto existe una estación principal llamada referencia (REF). La estación de referencia acepta solicitudes de otras

estaciones y según la naturaleza del tráfico y la capacidad disponible en el canal asigna tramas concretas a las estaciones solicitantes, para que éstas transmitan de forma inmediata. En cada instante el canal amplifica una portadora única la cual ocupa todo el ancho del canal. Cada determinado número de tramas, la estación de referencia envía a las estaciones secundarias las asignaciones existentes.

#### **Acceso múltiple por división de código**

Esta técnica opera con el principio de extensión del espectro de transmisión, donde se combina el multiplexaje por el tiempo y frecuencia, generando un plano codificado que puede asignarse a una estación.

En el acceso múltiple por división de código *CDMA* (*CDMA*: Code Division Multiple Access, Acceso Múltiple por División de Código), cada una de las estaciones terrenas transmiten continuamente y simultáneamente sobre la misma banda de frecuencia del canal, sin interferir con las demás estaciones que forman la red satelital.

El problema de interferencia entre las distintas estaciones que transmiten es resuelto por el receptor, el cual identifica la "firma" de cada estación; la firma es presentada en forma de una secuencia binaria, denominada código, la cual es combinada con la información útil de cada estación. Los códigos usados tienen las siguientes propiedades: Cada código debe ser fácilmente distinguible de una replica o de otro código usado en la red.

#### **Acceso múltiple por demanda asignada**

En estaciones que operan con la técnica *DAMA* (*DAMA*: Demand Assignment Multiple Access, Acceso Múltiple por Demanda Asignada) los circuitos se asignan a un par de estaciones terrenas, cuando éstas lo requieran de un grupo de circuitos disponibles.

Mediante esta técnica los recursos ofrecidos por el canal pueden ser asignados en forma variable, según la demanda, por lo tanto existe la posibilidad de capacidad de transferencia desde estaciones con capacidad de exceso a estaciones con demanda de exceso.

**Acceso múltiple en forma asignada**

En este método se asigna una frecuencia fija a los circuitos requeridos por las estaciones terrenas para su uso exclusivo.

Otros de los problemas que se solucionan con el empleo de estas técnica son:

- Retardos considerables durante la transmisión y recepción de información, dado la gran distancia deberá viajar la señal a través del espacio.
- Utilización del canal la mayor parte de tiempo.
- Utiliza al máximo el ancho de banda total disponible del transpondedor.

**3.5 PROTOCOLOS DE COMUNICACIONES**

El protocolo es el conjunto de reglas que define como se ha de iniciar y finalizar una transmisión y como tratar las posibles incidencias.

La tarea principal de un protocolo es conseguir la mayor eficacia en la realización de una determinada tarea, evitando la duplicidad de funciones, minimizar el tiempo empleado y asegurando la correcta realización de la misma.

Por lo tanto, las funciones básicas que ha de realizar cualquier protocolo son:

- Establecimiento del enlace entre el punto destino y origen.
- Transmisión de la información.
- Detección de fallos en la transmisión.
- Corrección de errores.

En comunicación de datos una vez que la información se ha codificado, se procede a su envío, por lo que, previamente el transmisor y el receptor se pondrán de acuerdo en la forma en que transmitirán y resolverán posibles errores.



En comunicaciones de voz también se manejan distintos protocolos de señalización entre las centrales y entre ellas y los usuarios.

### **Protocolos orientados al carácter**

Estos fueron los primeros que se emplearon, y consisten en un conjunto de caracteres de control que se añaden a la información para realizar tareas específicas formando tramas. Los caracteres que se añaden a la trama suelen ser de tres tipos: De inicio y fin de bloque y de control del diálogo.

### **Protocolo orientado al bit**

La diferencia con el anterior radica en que es cada bit y no el carácter del que forma parte el que tiene un significado específico. Son posteriores y ampliamente utilizados por su rendimiento y las facilidades que representan.

*HDLC* ( *HDLC*: High Level Data Link Control, Control de Enlace de Datos de Alto Nivel ) de ISO, es un protocolo orientado al bit y tiene tres modalidades diferentes:

- *HDLC-MNR*. Modo normal de respuesta, en el que una estación primaria adquiere el control y el resto secundarias responden a la petición de ésta.
- *HDLC-MRA*. Modo de respuesta asíncrono, similar al anterior, pero pudiendo solicitar las estaciones secundarias una transmisión, sin permiso de la primaria.
- *HDLC-MRAE*. Modo de respuesta asíncrono equilibrado, en el que todas las estaciones tienen la misma categoría, pudiendo iniciar la transmisión en cualquier momento, requiere de enlaces punto a punto y dúplex.

### **Protocolo SNMP**

*SNMP* ( *SNMP*: Simple Network Management Protocolo, Protocolo Simple de Administración de Red ), en sus distintas versiones, es un conjunto de aplicaciones de administración de red que emplea los servicios ofrecidos por TCP/IP y que se ha convertido en un estándar.

Para *SNMP*, la red constituye un conjunto de elementos básicos Administradores o *NMS* (Network Management Station, Administradores de Estación de Red) ubicados en el equipo o los equipos de administración de red y Agentes (elementos pasivos ubicados en los nodos a ser administrados) siendo los segundos los que envían información a los primeros al ser interrogados.

A través de *MIB* (*MIB*: Management Información Base, Base de Información del Administrador) se tiene acceso a la información para la administración, contenida en la memoria interna del dispositivo en cuestión. *MIB* es una base de datos, con una estructura de árbol, adecuada para manejar diversos grupos de objetos; los objetos contienen información sobre variables o valores que se pueden adoptar.

### **Protocolo TCP/IP**

El conjunto de protocolos *TCP/IP* (protocolo de control de transmisión/protocolo entre-redes), es un estándar internacional, para la comunicación e intercambio de información entre subredes de datos basadas en la conmutación de paquetes.

*TCP/IP* es una familia de protocolos que proporcionan una comunicación entre nodos extremo a extremo. *TCP* proporciona los servicios a nivel de transporte e *IP* a nivel de red. *TCP* utiliza al *IP* para establecer comunicaciones fiables entre subredes de dato

Otros protocolos de la familia, que utilizan los servicios de *TCP/IP*, son:

- *TELNET* para la conexión a una aplicación remota desde un proceso o terminal.
- *FTP* (*FTP*: File Transfer Protocol, Protocolo de Transferencia de Archivos) para la transferencia de archivos.
- *SMTP* (*SMTP*: Simple Mail Transfer Protocol, Protocolo Simple de Transferencia de Archivos) aplicación para correo electrónico.
- *RPC* (*RPC*: Remote Procedure Call, Llamada de Procedimiento Remoto) que permite la llamada a procedimientos situados remotamente, como si fuesen locales.

- NFS (NFS: Network File System, Sistema de Archivos de Red) para la utilización de los archivos distribuidos por los programas de aplicación.
- X-WINDOWS, para el manejo de ventanas e interfaces de usuario en una estación de trabajo.
- SNMP (SNMP: Simple Network Management Protocol , Protocolo Simple de Administración de Red) para la administración de la red.

Dado que el protocolo TCP/IP hace uso del modelo de referencia *OSI* (*OSI*: Open Systems Interconnection, Interconexión de sistemas abiertos ), éste se explicará a continuación. El modelo de referencia para la interconexión de sistemas abiertos *OSI* surge con la idea de interconectar sistemas de procedencia diversa, es decir, de diferentes fabricantes, siendo que cada uno de los cuales empleaba sus propios protocolos para el intercambio de señales. El termino “abierto” se seleccionó con la idea de realzar la facilidad básica del modelo que dio origen al mismo, frente a otros modelos “propietarios” y cerrados.

En el modelo *OSI*, las tareas de cooperación se dividen en siete partes, módulos, niveles o capas:

- Capa de aplicación.- Es la interfaz de sistema *OSI* con el usuario final, siendo su tarea desplegar la información recibida y enviar los nuevos datos de los usuarios a las capas inferiores.
- Capa de presentación.- Esta capa aísla a las capas inferiores del formato de datos de la aplicación, convirtiendo los datos de la aplicación a un formato común conocido como representación canónica; es un formato independiente del formato de la máquina útil para las capas inferiores. En el receptor los datos son convertidos del formato común a los formatos específicos de la aplicación, basados en los tipos de aplicación para los cuales la máquina tiene instrucciones.
- Capa de sesión.- Su tarea es organizar y sincronizar el intercambio de datos entre los procesos de aplicación. Trabaja con la capa de aplicación para proporcionar conjuntos sencillos de datos conocidos como puntos de sincronización, los cuales indican a la aplicación el progreso de la transmisión y la recepción de datos, es en esta capa donde se forman los datagramas. En las redes de conmutación de paquetes un datagrama es una forma de encaminamiento, en la

cual un paquete se dirige hacia su destino final, independiente del resto, por los tramos de menor carga y retardo, sin que previamente se haya establecido un circuito real.

- **Capa de transporte.**- Esta capa realiza una transferencia transparente de datos de un sistema abierto a otro. Establece, mantiene y termina las comunicaciones entre dos máquinas, comprueba que los datos enviados sean igual a los recibidos y si no existe solicita un reenvío, así como también administra el envío de datos, determina su orden y prioridad.
- **Capa de red.**- Su tarea es el enrutamiento físico de los datos, determina la ruta entre las máquinas. Examina la topología de la red y determina cual es el mejor camino y los sistemas de relevo.
- **Capa de vinculación de datos.**- Proporciona el control de la capa física, determina y corrige errores cometidos durante la transmisión debida a interferencias en los medios físicos de transmisión.
- **Capa física.**- Se ocupa de las características mecánicas, eléctricas y funcionales de los medios a través de los cuales se transportara la señal. Se refiere al cableado u otra forma de transmisión.

Las capas de aplicación, presentación y sesión están orientadas a la aplicación, en la que son responsables de la presentación de la interfaz de usuario. Las tres son independientes de las capas inferiores y son totalmente ajenas a los medios por los cuales los datos llegan a la aplicación.

Las cuatro capas inferiores tienen que ver con la transmisión de datos, y se ocupan del empaque, enrutamiento, verificación y transmisión de cada grupo de datos. Las capas inferiores no se preocupan del tipo de datos que reciben o envían a la aplicación, sino simplemente se ocupan de la tarea de enviarlos.

La tarea principal del protocolo Internet son el direccionamiento de los datagramas de información entre computadoras y la administración del proceso de fragmentación de dichos datagramas. El protocolo tiene una definición formal del diseño de un datagrama de información y de la formación de un encabezado compuesto de información relativa al datagrama. IP es responsable del enrutamiento de los datagramas, determinando a donde se enviarán, así como las rutas alternas en

caso de problemas. IP tiene la capacidad de hacer una estimación del mejor enrutamiento para mover un datagrama al siguiente nodo a lo largo de una ruta. El protocolo Internet es sin conexión, lo que significa que no se ocupa de los nodos a través de los cuales pasa un datagrama a lo largo de la ruta, e incluso en que máquina se inicia y termina el datagrama.

El protocolo de control de transmisión proporciona un número considerable de servicios a la capa IP y a capas superiores. Aun de mayor importancia, proporciona a las capas superiores un protocolo orientado a conexión, que permite a una aplicación asegurarse de que un datagrama enviado sobre una red se recibió totalmente. TCP maneja el flujo de datagramas provenientes de las capas superiores, así como los datagramas de llegada provenientes de la capa IP. Tiene que asegurarse de que las prioridades y la seguridad son respetadas. TCP debe ser capaz de manejar la terminación de una aplicación en una capa superior, que estaba esperando la llegada de un datagrama, así como fallas en capas inferiores.

Debido a que TCP es un protocolo orientado a conexión, responsable de asegurar la transferencia de un datagrama desde la máquina fuente a un máquina destino, TCP debe recibir mensajes de comunicación de la máquina destino para asegurar el recibo de los datagramas

### **Protocolo X.25**

Protocolo que permite el interfuncionamiento de redes públicas de conmutación de paquetes, siendo su entorno de funcionamiento entre terminales de datos y subred. Las redes de paquetes están basadas en la tecnología de conmutación de paquetes de datos, donde la capacidad de transmisión se puede compartir entre varios usuarios.

Los datos que son enviados a través de una red de éste tipo son divididos en paquetes o bloques, cada paquete contiene una dirección ó una indicación del destino requerido. Los conmutadores de paquetes de datos de la red enrutan los paquetes a sus destinos al examinar la dirección incluida en los mismos.

En X.25 se definen los procedimientos que realizan el intercambio de datos entre los dispositivos de usuario y nodo de acceso de una red, encargado de manejar los paquetes, por lo que X.25 es un conjunto de protocolos de acceso:

- LAPB (LAPB: Link Access Procedure Balanced, Procedimiento de Enlace de Acceso Balanceado) es el protocolo de enlace de datos que administra la comunicación entre el equipo de usuario y el nodo de acceso a la red. LAPB asegura que la transmisión sea libre de error y en secuencia.
- X.25 PLP (PLP: Packer Layer Protocol, Protocolo de Intercambio de Paquetes) es el protocolo de capa de red (de acuerdo a OSI) de X.25. PLP administra el intercambio de paquetes entre usuarios, a través de la red. El funcionamiento de X.25 PLP está relacionado con el establecimiento/desestablecimiento de conexiones y transferencia de datos, principalmente.

### **Protocolo X.75**

Es un protocolo orientado a facilitar el interfuncionamiento de redes públicas de conmutación de paquetes, posee características similares a las del X.25, su entorno de funcionamiento es únicamente en subred. Agrega un campo en el paquete de control, para utilidades del nivel de red.

El protocolo X.75 es transparente al usuario. No encapsula los datos que le son entregados para su transferencia, como lo hace TCP/IP, sino que utiliza la misma cabecera de X.25. Una característica importante a destacar es que no requiere de pasarelas para la interconexión de subredes.

Después de haber descrito los componentes principales de un sistema terrestre y espacial satelital y como acceder al mismo, se procederá a describir una estación terrena fija y la configuración que éstos deben tener con el fin de tener un sistema confiable y seguro contra fallos.

# **CAPITULO 4**

## **DESCRIPCION DE UNA ESTACION TERRENA FIJA**

En el presente capítulo describimos la función principal de los elementos que componen una estación terrena fija y la configuración redundante que éstos deben adoptar a fin de contar con un sistema seguro y confiable, que en caso de falla del equipo en operación se cuente con equipos de respaldo y darle continuidad al servicio, también se mencionarán los principales sistemas de radiofrecuencia y su integración a sistemas satelitales.

### **4.1 ELEMENTOS QUE COMPONEN UNA ESTACION TERRENA FIJA**

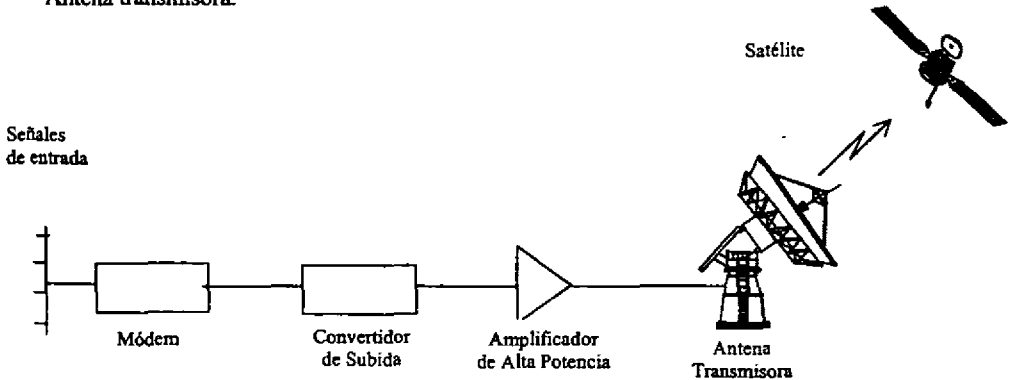
Básicamente una estación terrena fija puede describirse en dos secciones, la primera en la parte de transmisión y la segunda en la parte de recepción, a continuación haremos mención de ellas.

#### **Estación terrena transmisora**

Cuando se transmite una señal de información, ya sea analógica ó digital via satélite, típicamente se inicia con un proceso de modulación en los módems, posteriormente se incrementa la frecuencia de la señal modulada a través de los conversores de subida, consecuentemente se incrementa la potencia de la señal con los amplificadores de alta potencia y finalmente la señal modulada e incrementada en frecuencia y potencia, es radiada en dirección al satélite por la Antena transmisora.

Los equipos utilizados para la transmisión de una señal vía satélite son mostrados en la figura 4.1.

- Módem.
- Convertidor de subida.
- Amplificador de alta potencia.
- Antena transmisora.



*Figura 4.1. Configuración de una Estación Terrena Transmisora.*

### Módems

Los módems generan la señal modulada a transmitirse, conjuntando las características deseadas de la señal moduladora y de la señal portadora, la primera es la señal de información en formato digital, proveniente de las fuentes de información y la segunda, la señal portadora, típicamente es una señal senoidal generada internamente en el módem. La señal portadora es modulada digitalmente en fase (PSK) en la mayoría de los casos. Estos equipos proporcionan a su salida el rango conocido como frecuencia intermedia y admiten a su entrada el rango de banda base.

Las características técnicas relevantes del módem son:

- Pasos de sintonía.
- La velocidad digital.
- Tipo de modulación.
- FEC.
- Valor de ensanchamiento de sus filtros (Rolloff).
- BER.



- **Pasos de sintonía**

Este parámetro se refiere a la frecuencia mínima que es capaz nuestro módem de registrar o sintonizar, generalmente es en pasos de 125 Hz.

- **La velocidad de información**

Es la cantidad de bits de información que se aceptan en el dispositivo que recibe la información entre el tiempo total que se requiere para la aceptación de los bits.

- **FEC (FEC: Forward Error Correction, Corrección de errores adelantada).**

En este tipo de corrección de errores, se agrega a la señal de información como una serie de bits que corresponden a un código, así un FEC de  $\frac{3}{4}$  nos define que por cada 4 bits enviados 3 son de información y uno es de detección de errores.

- **Rolloff**

Es una característica de la calidad de los filtros paso-bajas de los módems para seleccionar una adecuada frecuencia de corte así se puede observar en la figura 4.2.

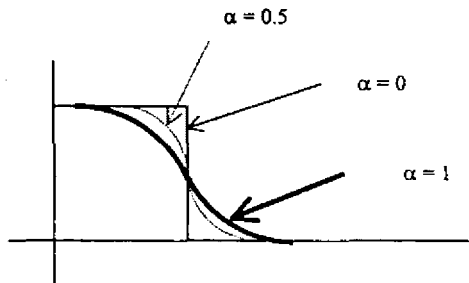


Figura 4.2 . Diferentes valores de Rolloff para un filtro paso-bajas.

- **BER (BER: Bit Error Rate, Tasa de bits erróneos)**

La tasa de bits erróneos se definen como la relación entre la cantidad de bits que se reciben incorrectamente contra el total de bits que se transmiten.

**Convertidor de subida**

El convertidor de subida es el equipo que eleva la frecuencia de la señal modulada desde el rango de frecuencia intermedia hasta el de radiofrecuencia ya sea en la banda C o Ku.

**Amplificadores de alta potencia**

El amplificador le proporciona a la señal modulada la potencia necesaria para llegar al satélite con el nivel necesario para lograr el enlace. Existen tres tipos principales de amplificadores de alta potencia, que son el TWT (TWT: Travel Wave Tube, Tubo de ondas viajeras), el SSPA (SSPA: Solid State Power Amplifier, Amplificador de estado sólido), y la Válvula Klystron.

- **Back-off**

Los amplificadores de salida, ya sean los amplificadores de tubo de onda progresiva TWT o amplificadores de potencia de estado sólido SSPA, no representan una característica de transferencia entrada-salida lineal cerca de la saturación. En la figura 4.3 se muestra una curva de transferencia típica aplicable a los tubos de onda progresiva, sin importar la potencia de salida absoluta. Una reducción en el nivel activador de entrada denominada retroceso de entrada  $Bo_i$  o Back-off de entrada, da por resultado un valor generalmente distinto de reducción en la potencia de salida, denominado retroceso de salida,  $Bo_o$  o Back-off de salida.

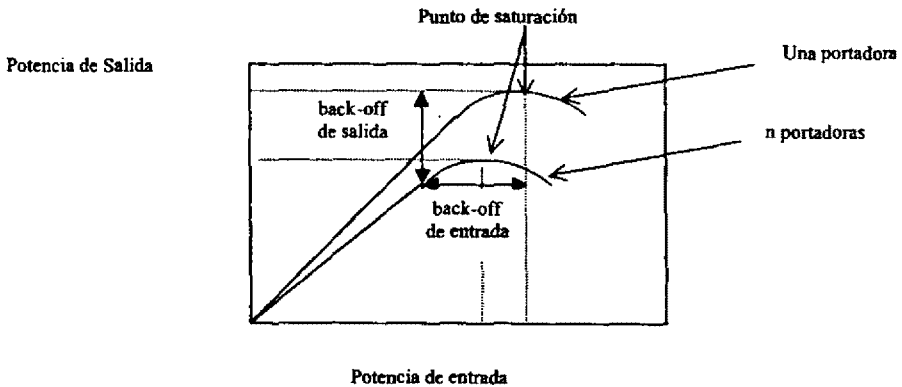


Figura 4.3. Back-off de entrada y salida de un TWT.

**Antenas**

Las Antenas están diseñadas para radiar (ó recibir) energía en la forma más efectiva posible, la región de transición entre una onda guiada y una onda en el espacio libre, se puede definir como una Antena. Las Antenas más utilizadas en las estaciones terrenas fijas son las del tipo de reflector parabólico, que son altamente directivas.

**- Tipos de antenas**

Las Antenas más utilizadas en las comunicaciones vía satélite son las del tipo de reflector parabólico, debido a su característica de buena directividad y concentración de haz, éstas suelen clasificarse de acuerdo a el número de reflectores, tipo de alimentación y eficiencia, estas características están resumidas en la tabla 4.1.

| Tipo       | Reflector | Alimentación | Subreflector | Eficiencia |
|------------|-----------|--------------|--------------|------------|
| Parabólico | Unico     | Frontal      | No           | Reducida   |
| Cassegrain | Doble     | Posterior    | Cóncavo      | Buena      |
| Gregory    | Doble     | Posterior    | Convexo      | Buena      |
| Offset     | Unico     | Frontal      | No           | Buena      |

*Tabla 4.1. Características de las Antenas utilizadas en las comunicaciones vía satélite.*

En la figura 4.4 tenemos los 4 tipos de Antenas más comúnmente utilizados en las comunicaciones vía satélite descritos en la tabla 4.1. Su elección depende de las necesidades propias de cada usuario de la estación terrena, y los dos tipos más utilizados en la actualidad son la *Cassegrain* y la *offset* por presentar buenas características.

Las características más importantes de las Antenas a la transmisión son:

- Ganancia.
- PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Efectiva).

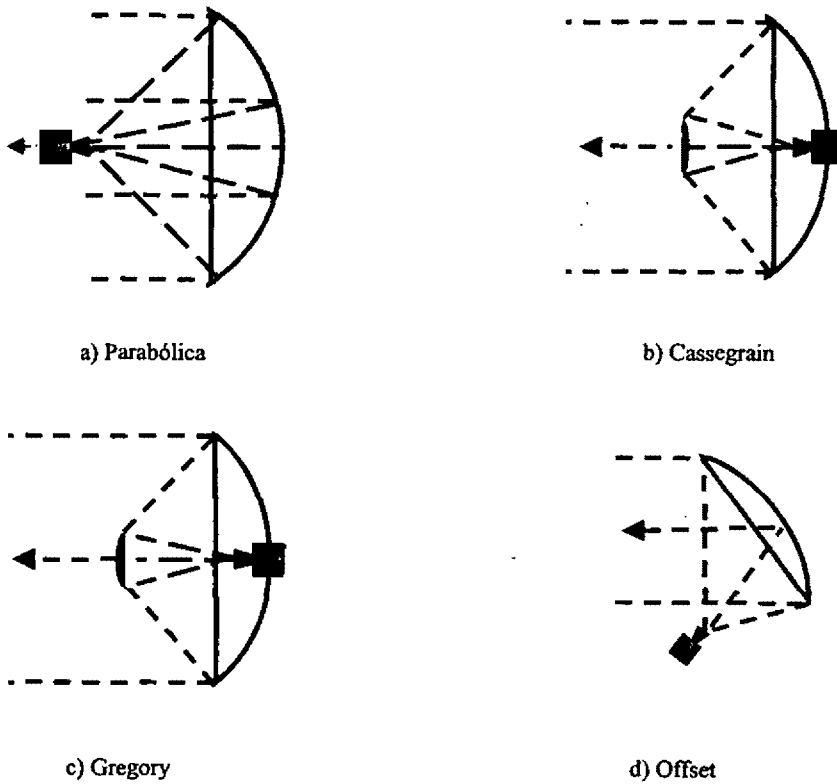


Figura 4.4. Tipos de Antenas empleadas en las estaciones terrenas.

**- Ganancia**

La ganancia de una Antena parabólica es función de su área efectiva y frecuencia de trabajo, se puede expresar mediante la ecuación 4.1 que se define como:

$$G = 10 \log (4\pi A \eta / \lambda) \text{ ----- 4.1}$$

Donde:

A = Área de apertura de la Antena.

$\eta$  = Eficiencia de la apertura.

$\lambda$  = Longitud de onda de la frecuencia de operación.

#### - PIRE

La PIRE se utiliza para describir la potencia en el haz de radio en relación con la Antena isotrópica. La PIRE es la suma algebraica de potencia en la salida del transmisor, de las ganancias y pérdidas del sistema de Antena a la transmisión.

#### Estación terrena receptora

La estación terrena receptora capta a través de su Antena a la señal proveniente del espacio, la amplifica, le disminuye su frecuencia y demodula para las señales digitales. La figura 4.5 nos muestra el equipo necesario para este fin.

El equipo necesario en una estación terrena receptora es:

- Antena.
- Amplificador de bajo ruido.
- Conversor de bajada.
- Módem.

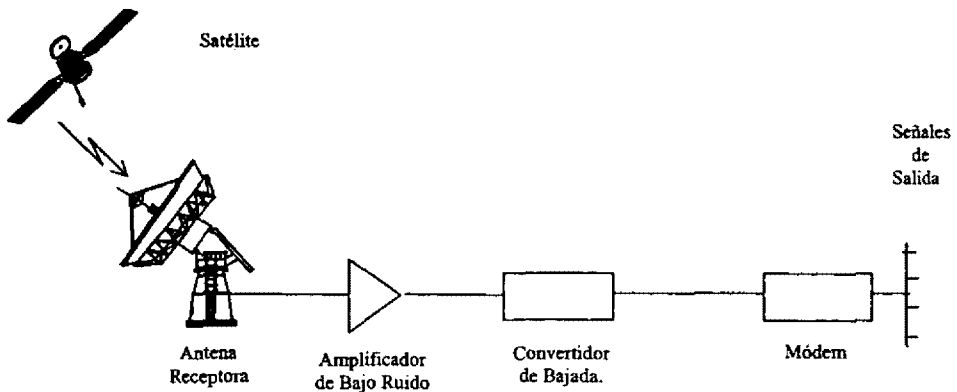


Figura 4.5. Configuración de una Estación Terrena Receptora.

### Antena

Después de haber viajado los aproximadamente 36000 km. de distancia entre el satélite y la estación terrena receptora, la señal de comunicación llega a la Antena de la estación terrena receptora, que la concentra y dirige hacia el amplificador de bajo nivel de ruido.

Las características relevantes de la Antena a la recepción son:

- Factor de mérito.
- Temperatura de ruido.
  
- **Factor de mérito**

El factor de mérito se utiliza para describir la capacidad de la estación terrena para recibir la señal desde el satélite y se puede expresar por medio de la ecuación 4.2 que se define como:

$$G/T = G_{\text{a}} - 10 \log T_{\text{e}} \text{-----} 4.2$$

Donde:

G = Ganancia de la Antena a la frecuencia de recepción.

T<sub>e</sub> = Temperatura efectiva de ruido en el sistema.

- **Temperatura de ruido**

La temperatura de ruido es la suma de todos los componentes de ruido en el sistema de recepción, estos componentes se pueden dividir en cuatro categorías:

- Ruido de Antena. Este ruido incluye el de desbordamiento en la Antena, el ruido cósmico y el ruido atmosférico. El desbordamiento de la Antena se refiere a la energía que irradia la Antena al suelo y la que dispersan los soportes de la Antena.
- Componentes pasivas de ruido. Es la sumatoria del ruido equivalente de las componentes pasivas antes de que la señal de entrada llegue a la primera componente activa.
- Ruido de encadenamiento de los amplificadores de alta potencia.
- Suma de las contribuciones de ruido excesivo de las diferentes etapas activas de amplificación del sistema de recepción.

**Amplificador de bajo nivel de ruido (LNA)**

El amplificador de bajo nivel de ruido (LNA) es el dispositivo encargado de amplificar a la débil señal recibida por la Antena de la estación terrena. La característica de éstos amplificadores es la de agregar un mínimo de ruido a la señal amplificada. Como característica importante de éste amplificador es su temperatura de ruido, y en tanto esta temperatura sea más baja, será mejor su comportamiento.

**Convertidor de Bajada**

Una vez que la señal es amplificada, pasa por varias etapas de conversión en frecuencia, en donde se le disminuye desde los niveles de radiofrecuencia hasta los de frecuencia intermedia (es decir, de 70 MHz ó 140 MHz), dependiendo del sistema.

**Módem**

Una vez que la señal está en el rango de la frecuencia intermedia, llega al módem en su etapa demoduladora, que se encargará de proporcionar la información en la banda base. La señal se demodula y se verifica la información corrigiéndose en base al algoritmo del FEC. El módem en su parte demoduladora posee como característica relevante, al parámetro  $E_b/N_0$  ó relación de energía de bit a densidad espectral de ruido.

**4.2 RADIOFRECUENCIA**

La frecuencia a la cual la radiación de energía electromagnética es útil para las comunicaciones se llama radiofrecuencia y esta es superior a las frecuencias acústicas, pero inferior a las de la luz y el calor.

En la tabla 4.2 se muestran las designaciones de las frecuencias.

|                               |                  |          |
|-------------------------------|------------------|----------|
| VLF (frecuencias muy bajas)   | De 3 Hz hasta    | 30 kHz   |
| LF (frecuencias bajas)        | De 30 kHz hasta  | 300 kHz  |
| MF (frecuencias medias)       | De 300 kHz hasta | 3 MHz    |
| HF (frecuencias altas)        | De 3 MHz hasta   | 30 MHz   |
| VHF (frecuencias muy altas)   | De 30 MHz hasta  | 300 MHz  |
| UHF (frecuencias ultra altas) | De 300 MHz hasta | 3000 MHz |
| SHF (frecuencias super altas) | De 3 GHz hasta   | 30 GHz   |
| EHF (frecuencias extra altas) | De 30 GHz hasta  | 300 GHz  |

Tabla 4.2. Designación de frecuencias.

En la tabla 4.3 se muestran las bandas de frecuencias utilizadas para los servicios de comunicación vía satélite.

| DENOMINACION       | RANGO DE FRECUENCIAS APROX. | SERVICIOS SATELITALES USUALES                 |
|--------------------|-----------------------------|---|
| VHF                | 30-300 MHz                  | Mensajes                                      |
| UHF                | 300-1000 MHz                | Militar, Navegación, Móviles                  |
| L                  | 1 - 2 GHz                   | Móviles, Difusión de Audio, Radiolocalización |
| S                  | 2 - 4 GHz                   | Móviles, Navegación                           |
| C                  | 4 - 8 GHz                   | Fijo  |
| X                  | 8 - 12 GHz                  | Militar                                       |
| Ku                 | 12 - 18 GHz                 | Fija, Difusión de Video                       |
| K                  | 18 - 27 GHz                 | Fijo  |
| Ka                 | 27 - 40 GHz                 | Fijo, Difusión de Video, Intersatélites       |
| Ondas milimétricas | Mayor a 40 GHz              | Intersatélites                                |

Tabla 4.3. Frecuencias utilizadas en comunicaciones vía satélite.



### Servicios principales

Una clasificación de los servicios de telecomunicación, independientemente de las designaciones internacionales, regionales o nacionales, es la siguiente:

- Telefonía.
- Telegrafía-Télex-Servicios telemáticos.
- Televisión.
- Transmisión de datos y servicios empresariales.
- Red digital de servicios integrados (RDSI).
- Comunicaciones de emergencia.
- Servicios de restablecimiento de cables.

Los satélites de comunicaciones han servido continuamente como complemento de los medios de telecomunicación más antiguos hasta el punto de constituir actualmente una tecnología madura. Las técnicas digitales ofrecen la posibilidad de un procesamiento perfeccionado de señales y de la combinación de servicios diversos o de la consecución de nuevos servicios.

#### - Telefonía

Los sistemas internacionales vía satélite permiten la interconexión de los centros internacionales de conmutación telefónica situados en países diversos. Se considera que los sistemas terrestres y los sistemas vía satélite son complementarios y se ha establecido un gran número de trayectos terrestres/satelitales como medios de establecer circuito directo.

Los servicios telefónicos regionales pueden proporcionarse por un sistema internacional de satélites, o bien, por un sistema regional de satélites especializado. El servicio proporcionado es similar al servicio internacional en cuanto a que pueden existir enlaces de comunicación entre las administraciones de correos, teléfonos, telégrafos y empresas de telecomunicaciones, pero no puede existir un vínculo directo con una red internacional.

Los servicios telefónicos nacionales pueden proporcionarse por un sistema internacional de satélites, por sistemas regionales de satélites o por un sistema nacional de satélites especializado. Estos

servicios pueden abarcar desde enlaces multicanal entre centros de telecomunicaciones importantes que interconectan redes terrestres, redes privadas entre grupos industriales o gubernamentales, hasta enlaces en rutas de poco tráfico entre localidades.

- **Telegrafía – Télex – Servicios telemáticos**

Las condiciones generales para establecer telegrafía, télex y servicios telemáticos en el marco de los sistemas internacionales, regionales y nacionales de telecomunicación vía satélite son muy similares a las indicadas anteriormente para la telefonía.

Específicamente, el servicio de télex proporciona la transmisión y recepción de material y mensajes textuales por medio de máquinas teleimpresoras. Se emplea normalmente cuando el tráfico de mensajes es ligero y consiste principalmente en caracteres alfanuméricos.

El avance y la convergencia de las tecnologías de telecomunicaciones y de procesamiento de datos puede denominarse con el término servicios telemáticos, y comprende los siguientes servicios:

- Comparación de capacidad informática entre facilidades (por ejemplo, uno o varios computadores centralizados y/o distribuidos).
- Asistencia en tiempo real y recuperación/continuación del procesamiento durante periodos de fallo, en sistemas de procesamiento.
- Establecimiento de enlaces de telecomunicaciones de alta velocidad para proporcionar intercambio y conmutación rápidos de información entre nodos principales de redes de procesamiento de datos (con aplicación particular a comunicaciones de datos en el modo de conmutación de paquetes).
- Actualización simultánea de varios centros de procesamiento distribuidos y ubicaciones externas.
- Transferencias de bancos de datos.
- Difusión de información y distribución de datos.
- Transmisión facsímil, desde un servicio sencillo a baja velocidad hasta transmisión de alta definición de material impreso, manuscrito, fotografías y dibujos, para aplicaciones tales como servicio de correo electrónico y teleimpresión.

- **Facilidades de teleconferencia**, desde las más sencillas conferencias pluripartitas de audio con auxiliares visuales (a baja velocidad binaria, como televisión de imágenes fijas a 56/64 kbps) hasta conferencias más perfeccionadas con transferencia de imágenes (1.5 o 2 Mbps) y hasta videoconferencias en toda su integridad (transmisión de televisión a 6/10 Mbps) entre múltiples usuarios. Hay que señalar que las facilidades de teleconferencia pueden incluir estaciones terrenas móviles transportables.

- **Televisión**

La existencia de los enlaces vía satélite para la distribución de televisión elimina la relación distancia/costo asociada con la distribución terrestre de las señales; en algunos casos, los satélites constituyen el único medio posible, o económico, de distribución de señales. Las aplicaciones comprenden la distribución de programas de televisión, o información de video, entre ubicaciones para su retransmisión subsiguiente por estaciones terrenas, redistribución a través de redes de cable o por procesamiento. Además, pueden utilizarse señales de televisión de exploración lenta o de banda ancha para actividades de teleconferencia o educativas cuando se requiere información audiovisual para manejar la comunicación efectiva.

En el sector de los servicios internacionales, la práctica actual comprende:

- Transmisión ocasional de televisión programada.
- Arrendamiento a largo plazo de canales de comunicación para transmisión de televisión permanente.
- Videoconferencias.

- **Transmisión de datos y servicios empresariales**

Las nuevas oportunidades y las necesidades de las grandes y medianas empresas han conducido a la preparación de redes de telecomunicación para empresas que utilizan transmisión digital. El crecimiento de estos servicios es rápido y se espera que en el futuro las transmisiones de datos desempeñen un papel de importancia cada vez mayor debido a tres factores principales:

- 1) Por sus características únicas (acceso múltiple y capacidad de difusión), las telecomunicaciones vía satélite ofrecen un medio ideal para la transmisión de datos.

- 2) Las telecomunicaciones vía satélite utilizan cada vez más las técnicas digitales.
- 3) La disponibilidad de la tecnología digital y el interés en mejorar la productividad, han dado como resultado una creciente demanda por parte de las organizaciones industriales, financieras y administrativas de un gran número de nuevos servicios que hasta ahora no eran practicables o eran excesivamente costosos. La distribución geográfica de los equipos informáticos dentro de una organización o administración, que tienen que dialogar entre sí, pueden superarse mediante la utilización de enlaces vía satélite de alta velocidad.

#### - **Red digital de servicios integrados**

El concepto de red digital de servicios integrados (RDSI: Red Digital de Servicios Integrados) se introdujo en el CCITT (CCITT: Comité Consultatif International de Telegraphique et Telephonique, Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico) sobre la base de que "... la RDSI pudiera ser la red mundial de telecomunicaciones ideal para el futuro". En este concepto está comprendida la sustitución, a mediano plazo, de las actuales facilidades de conmutación analógica de telefonía, datos y video.

La RDSI se está proyectando y realizando internacionalmente como una red de conmutación mundial única que proporcione todos los servicios a través de la interfaz de usuario normalizadas.

El principal distintivo del concepto RDSI es la aplicación de una amplia gama de servicios vocales y no vocales con la misma red digital. Un elemento clave de la integración en una RDSI es la prestación de una gama de servicios que utilizan un conjunto limitado de tipos de conexión y de disposiciones de interfaz con el usuario. Las conexiones conmutadas en una RDSI abarcan las de conmutación de circuitos y conmutación de paquetes.

#### - **Comunicaciones de emergencia**

En los momentos de catástrofes naturales, perturbaciones civiles o accidentes en gran escala, las facilidades de telecomunicación normales basadas en instalaciones terrenas quedan frecuentemente sobrecargadas, temporalmente interrumpidas o destruidas. La disponibilidad de telecomunicación por satélite garantiza que un elemento del sistema permanezca aislado de las interrupciones terrestres, es decir, el segmento espacial. Mediante el despliegue de pequeñas terminales terrestres

transportables en el lugar de la situación de emergencia, pueden establecerse comunicaciones y ayudar al restablecimiento de los servicios necesarios.

En condiciones similares, aunque en circunstancias menos dramáticas, las comunicaciones vía satélite son especialmente adecuadas para establecer enlaces temporales en el periodismo y enlaces con lugares en los que se celebran eventos especialmente que requieran facilidades de comunicación no habituales y una alta capacidad de tráfico instantánea, por ejemplo reuniones internacionales o acontecimientos deportivos.

- **Servicios de restablecimiento de cables**

El servicio de restablecimiento de cables tradicional está concebido para restablecer a través de satélites durante las interrupciones de los cables. Estos servicios son proporcionados, bien en un modo de utilización ocasional, o bien planificada a largo plazo cuando se prevé la interrupción.

### **4.3 CONFIGURACION DE UNA ESTACION TERRENA FIJA**

En comunicaciones satelitales es de gran importancia contar con sistemas redundantes a fin de mantener alta confiabilidad, es decir, cuando el equipo en línea de la configuración redundante falla, el equipo en espera es automáticamente conmutado y será el equipo en línea. Por lo tanto, los sistemas de amplificadores de alta potencia, amplificadores de bajo ruido, el convertidor de bajada y el convertidor de subida deben emplear algún tipo de redundancia a fin de mantener alta confiabilidad y seguridad en el sistema de la estación terrena.

En una red de comunicaciones vía satélite, la cual consiste de muchas estaciones terrenas y un centro de control de red, el monitoreo y control es extremadamente importante e implica muchos niveles, como son:

- Monitoreo y control de terminales de RF (RF: Radio Frequency, Radiofrecuencia).
- Monitoreo y control de terminales de banda base.
- Monitoreo remoto y control de todas las estaciones terrenas desde el centro de control de red vía satélite, con una línea telefónica terrestre de respaldo.

**- Redundancia en los HPA's (HPA: High Power Amplifier, Amplificadores de alta potencia)**

La señal de salida del convertidor de subida es alimentada a dos amplificadores HPA's, HPA 1 y HPA 2, a través de un divisor de potencia. Las señales de salida de los HPA's son enviadas al conmutador de guía de onda. La señal de salida del HPA 1 es encaminada hacia el alimentador de la Antena, mientras que, la señal de salida del HPA 2 es enviado vía el conmutador de guía de onda a una carga, en la cual disipa la potencia en forma de calor. Cuando el HPA 1 falla el conmutador automáticamente conecta la salida del HPA 1 hacia la carga y la del HPA 2 hacia el alimentador de la Antena, esta configuración es la 1 + 1 y se muestra en la figura. 4.6.

Cuando se utiliza la polarización doble en el rehuso de frecuencia de estaciones terrenas, cuatro HPA's son necesarios para proveer doble redundancia 1 + 1, esta redundancia es costosa puesto que es necesario el empleo de más HPA's. Por razones de costo-eficiencia se emplea la redundancia 2 + 1, en la cual una carga es usada por ambos conmutadores de guía, esto conlleva a una menor confiabilidad.

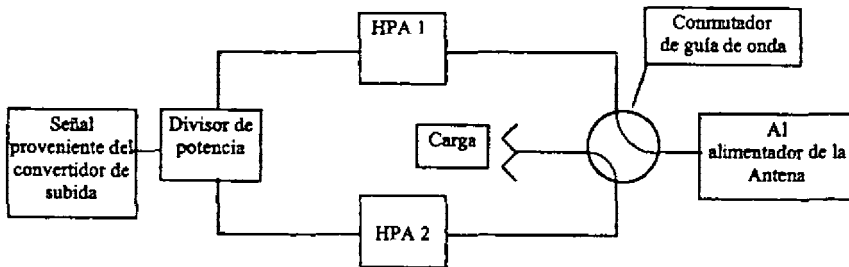


Figura 4.6. Configuración redundante 1 + 1 en HPA's.

La redundancia 2 + 1 puede ser empleada cuando la estación terrena transmite sólo una portadora en cada polarización en algún instante de tiempo, o también cuando dos portadoras son transmitidas simultáneamente con la misma polarización, en este caso un combinador de portadora es utilizado para combinarlas tal y como se muestra en la figura. 4.7. Por lo tanto, cuando más de dos portadoras son transmitidas simultáneamente, deben configurarse esquemas más elaborados.

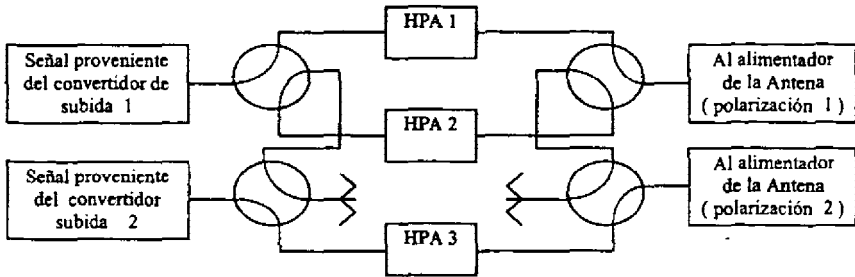


Figura 4.7. Configuración redundante 2 + 1 en HPA's con doble polarización.

- Redundancia en los LNA's ( LNA: Low noise amplifier, Amplificador de bajo ruido )

Los LNA's más comúnmente usados en estaciones terrenas son el amplificador paramétrico y el amplificador GaAs FET. Básicamente la configuración redundante más utilizada es la 1 + 1, ésta se muestra en la figura 4.8, donde dos amplificadores de bajo ruido son conectados en paralelo por dos conmutadores de guía de onda. Cuando el LNA 1 en línea falla, el conmutador activa el LNA 2 de respaldo.

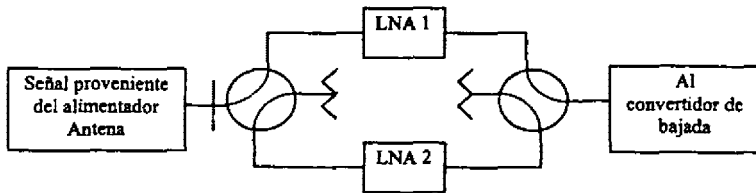


Figura. 4.8. Configuración redundante 1 + 1 de LNA's.

En operación de doble polarización, la configuración redundante 2 + 1 es atractiva desde el punto de vista de costos. En esta configuración el LNA de respaldo puede ser conmutado a alguna polarización, esto se muestra en la figura 4.9.

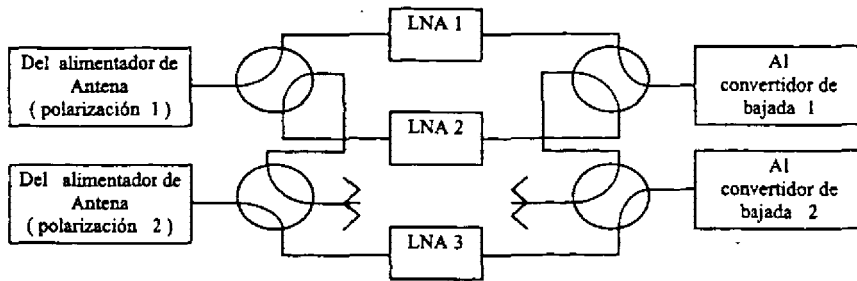


Figura 4.9. Configuración redundante 2 + 1 en LNA's con doble polarización.

#### - Redundancia en los UC's ( UC: Upconver, Convertidor de subida )

Para una conversión de subida óptima, donde una traslación de portadora es requerida empleando un segundo LO ( LO: Local Oscillator , Oscilador local ) de frecuencia se plantea la siguiente solución : Usar un LO para cada traslación de frecuencia y una conmutación rápida. Este tipo de convertidor de subida es llamado un convertidor de subida con traslaciones empleando osciladores locales. Una conmutación de polarización rápida es empleada a la salida del UC para dirigir la portadora a la debida polarización. Dado que la variación de amplitud y retardos de grupo en el lado de transmisión de la estación terrena y del satélite contribuyen a la distorsión de la portadora modulada y las diferentes longitudes de trayectoria entre los UC's, se tiene como resultado retardos de la señal. Para compensar los retardos mencionados es necesario utilizar ecualizadores, EQL's ( EQL: Equalizers, Ecualizadores). El número de ecualizadores es igual al número de traslaciones de frecuencia. Un conmutador rápido de IF es usado a la entrada del UC para seleccionar un ecualizador designado para una traslación de frecuencia.

El conmutador de IF, el conmutador LO y el conmutador de polarización son controlados por una señal del equipo de banda base. El convertidor de subida con traslaciones, empleando osciladores locales se muestra en la figura 4.10. con redundancia 1 + 1.



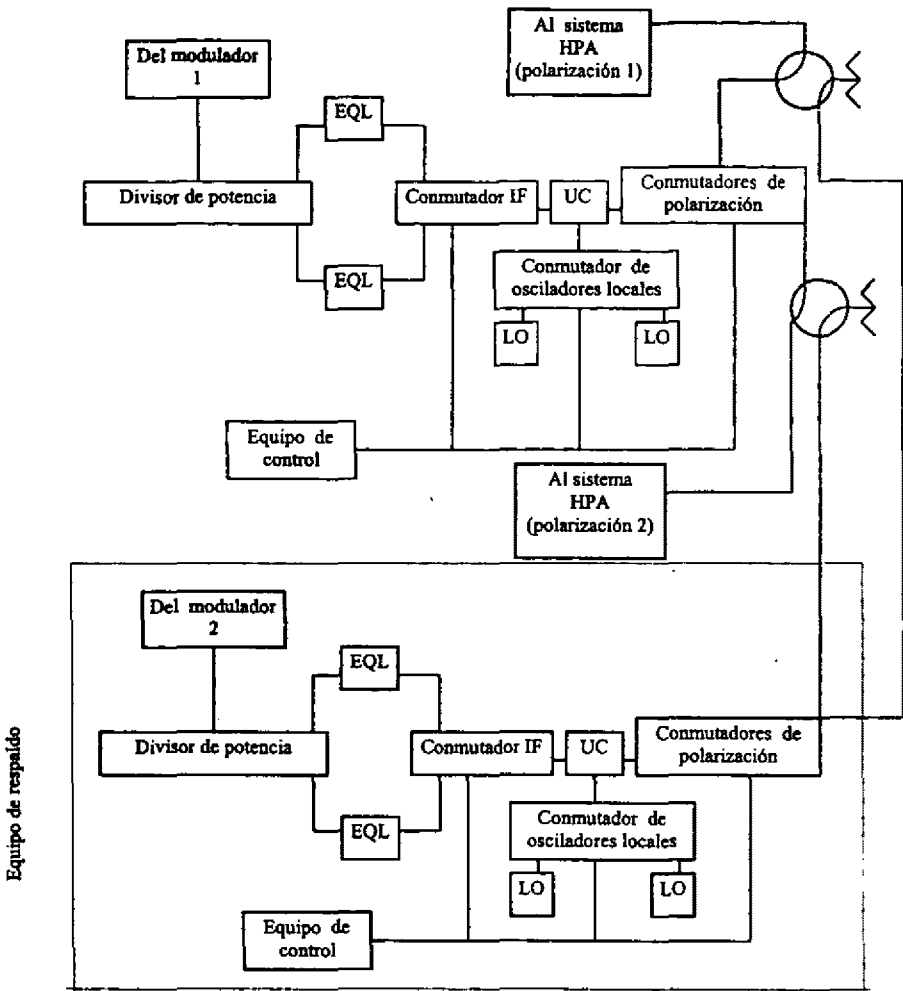


Figura 4.10. Convertidor de subida con traslaciones empleando osciladores locales en configuración redundante 1 + 1.

- Redundancia en los DC ( DC: Downconverter, Convertidor de bajada )

La redundancia de los DC's es debido a que en las estaciones terrenas en ocasiones se recibe tráfico de diferentes polarizaciones, por lo cual se debe contar con convertidores de bajada , conmutadores

de polarización y conmutadores de frecuencia intermedia. En la figura 4.11 se muestra un DC con traslación de frecuencia en configuración redundante 1 + 1.

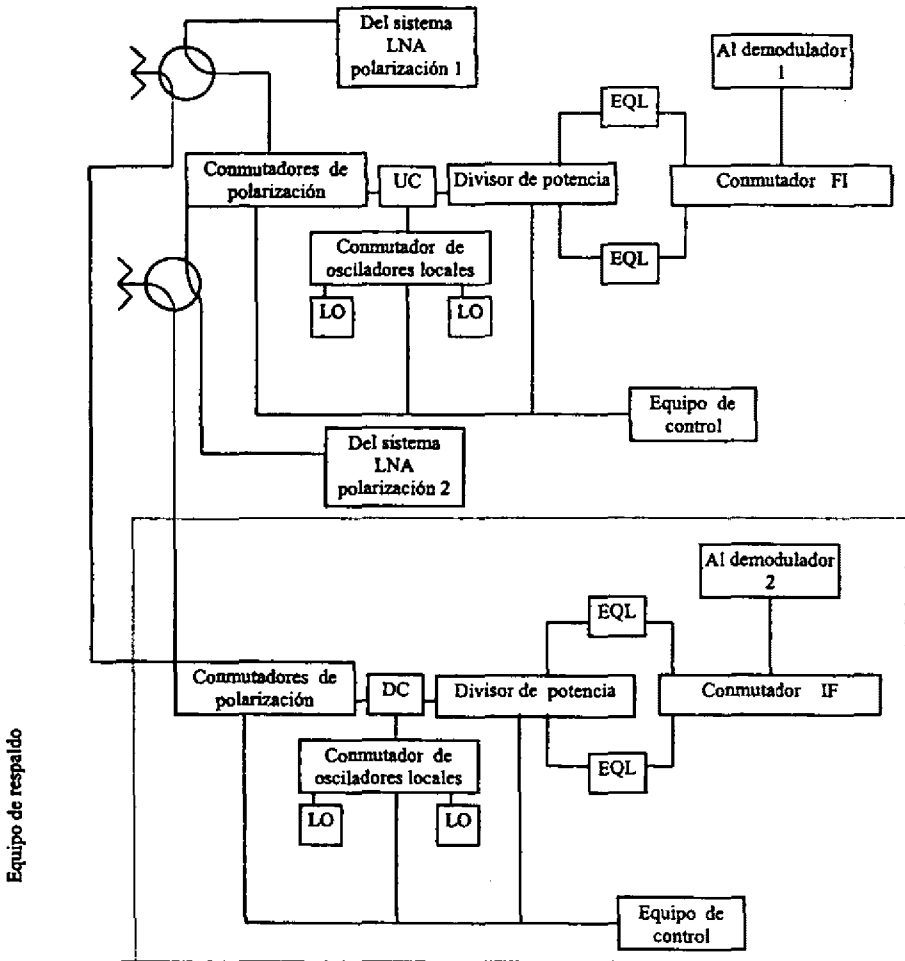


Figura 4.11. Convertidor de bajada con traslación de frecuencia a través de osciladores locales en configuración redundante 1 + 1.

Con base en todo lo anteriormente mencionado, en el siguiente capítulo se analizarán los elementos de una estación terrena móvil y los subsistemas que la componen.

## **CAPITULO 5**

### **DISEÑO DE UNA RED DE ESTACIONES TERRENAS MOVILES TRANSPORTABLES EN BANDA Ku**

En los sistemas de comunicación satelital la finalidad principal es realizar un enlace de buena calidad, ésto no siempre resulta sencillo, debido a los diferentes tipos de interferencia y atenuación que sufre la señal tanto en el enlace de subida como en el enlace de bajada. Estas interferencias y atenuaciones no afectan de igual manera a las diferentes frecuencias con las que se cuenta para la comunicación satelital, en nuestro caso en la banda de frecuencias Ku. Es por esto que se debe hacer un análisis de los diferentes factores que degradan una señal, así como elegir el equipo más idóneo para llevar a cabo este enlace. En los siguientes temas se estudian las características de los diferentes factores y equipos para poder hacer una elección adecuada para el diseño de nuestra red.

#### **5.1 FUNDAMENTOS TECNICOS Y CONSIDERACIONES PARA PLANEAR LA RED**

##### **Factores que influyen en la elección de frecuencias para la comunicación via satélite**

En este apartado se explicará brevemente la relación que existe entre la frecuencia y las condiciones de propagación de las ondas radioeléctricas, también se verán otros factores técnicos que influyen en las comunicaciones espaciales con el fin de definir una base para la selección de frecuencias destinadas a las comunicaciones satelitales. Se estudiarán en especial las características que se presentan en las bandas de frecuencias Ku y C, esto es debido a que el sistema mexicano de satélites SOLIDARIDAD I y II, Y SATMEX 5 cuentan con estas dos bandas.

Generalmente los enlaces de comunicación por satélite están diseñados para funcionar con la mínima potencia de transmisión necesaria, tanto en la estación terrena como en la estación espacial, por uno o varios de los siguientes motivos:

- Hasta ahora, la potencia disponible en las estaciones espaciales se ha visto limitada por la tecnología y por las restricciones impuestas por el vehículo espacial.
- Con el uso de potencias de transmisión débiles, se reduce al mínimo las interferencias entre sistemas de telecomunicación espacial y las producidas a sistemas terrestres en las bandas compartidas.
- En las bandas de frecuencias compartidas con servicios terrestres se limita la potencia por acuerdo.

Al mismo tiempo hay que diseñar los sistemas para que puedan atender las necesidades de su tráfico y calidad de operación. La forma en que pueden atenderse depende de los efectos del medio ambiente y de la propagación y de los niveles de ruido en las estaciones terrenas y espaciales que a su vez, dependen de la frecuencia.

- **Absorción atmosférica**

Las características de atenuación de la atmósfera normal dependen de la frecuencia y permiten que la energía pase a través de la atmósfera más fácilmente en ciertas frecuencias que en otras, habiendo, por consiguiente, gamas de frecuencias más adecuadas para las comunicaciones satelitales.

- **Absorción debida a hidrometeoros**

En presencia de hidrometeoros como son la lluvia, granizo, nieve y niebla, la atenuación atmosférica aumenta con la frecuencia, especialmente en frecuencias superiores a 10 GHz. Un grado importante de atenuación tiende además, a aumentar la temperatura de ruido del sistema receptor de una estación terrena. La atenuación debida a hidrometeoros puede convertirse en un factor limitativo en sistemas proyectados para un alto grado de confiabilidad.

- **Atenuación inducida por lluvia**

Además de la siempre pérdida en el espacio libre y la absorción atmosférica, en las comunicaciones satelitales por encima de los 10 GHz deben de considerar otro tipo de atenuación causado por la

lluvia, esto se hace más importante en el diseño de enlaces satelitales que trabajan en las bandas de frecuencias de 14/12 GHz y de 30/20 GHz. Una predicción confiable de la atenuación debida a la lluvia es necesario para el diseño de sistemas que trabajen en este rango de frecuencias, para poder determinar realmente cual es la disponibilidad del enlace y proveer así de medios para contrarrestar los efectos de la lluvia, la figura 5.1 y la tabla 5.1 nos proporciona el margen de atenuación por lluvia para la República Mexicana y en la tabla 5.2 presentamos las consideraciones necesarias, con respecto al satélite, que se utilizan en el cálculo del enlace, dicha información se tomó del libro [2] de la bibliografía.

### **Análisis comparativo de la banda Ku y la banda C**

Además de los factores de la propagación y del medio ambiente, de los variables con la frecuencia que afectan las comunicaciones con las estaciones espaciales, existen otros elementos importantes para la implantación de un sistema que depende también de la frecuencia, la ganancia de las Antenas de las estaciones terrenas y el exceso de la temperatura de ruido de los receptores.

Al elegir una frecuencia para el servicio de comunicación via satélite debemos de tomar en cuenta las características que presenta dicha frecuencia. A continuación se definirán las características más importantes de la banda Ku y la banda C, por lo que se tendrá que definir cuales son sus ventajas y desventajas tanto en el servicio fijo por satélite como en una red de estaciones terrenas móviles transportables.

#### **- Banda Ku**

Las principales desventajas que presenta la banda Ku en un sistema de comunicación por satélite son:

- **Atenuación por lluvia.** La cuál representa una de las principales limitantes cuando se planea un sistema que trabajará en esta banda de frecuencia.
- **Atenuación por absorción atmosférica.** Aunque esta es menos significativa es necesario tomarla en cuenta como una limitante del sistema.
- **Absorción debida a hidrometeoros.** Esta ocasiona un aumento en la absorción atmosférica, debida especialmente a sus frecuencias de operación.

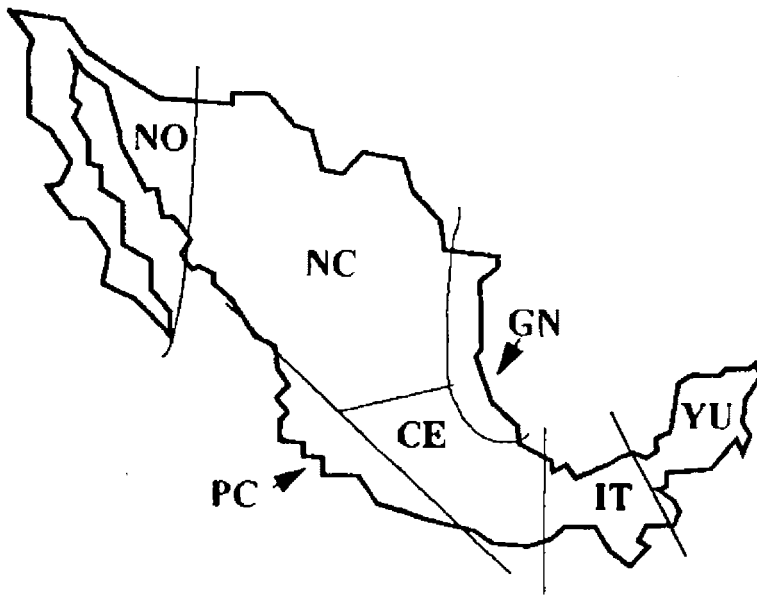


Figura 5.1. Mapa de zonas de afectación de atenuación por lluvia para la banda Ku.

| Zona<br>Hidrometeorológica |    | Disponibilidad    |                  |                  |
|----------------------------|----|-------------------|------------------|------------------|
|                            |    | 99.50 %<br>( dB ) | 99.80%<br>( dB ) | 99.90%<br>( dB ) |
| Nor Occidente<br>NO        | Tx | 1.50              | 3.00             | 3.50             |
|                            | Rx | 0.00              | 1.00             | 1.50             |
| Norte Centro<br>NC         | Tx | 0.00              | 1.00             | 1.30             |
|                            | Rx | 0.00              | 0.00             | 0.00             |
| Golfo Norte<br>GN          | Tx | 3.60              | 6.80             | 9.20             |
|                            | Rx | 1.60              | 4.80             | 7.20             |
| Centro<br>CE               | Tx | 2.20              | 4.20             | 6.30             |
|                            | Rx | 0.20              | 2.20             | 4.30             |
| Pacífico Centro<br>PC      | Tx | 3.60              | 5.90             | 8.50             |
|                            | Rx | 1.60              | 3.90             | 6.50             |
| Istmo<br>IT                | Tx | 2.50              | 5.80             | 8.20             |
|                            | Rx | 0.50              | 3.80             | 6.20             |
| Yucatán<br>YU              | Tx | 2.90              | 6.00             | 8.90             |
|                            | Rx | 0.90              | 4.00             | 6.90             |

Tabla 5.1. Margen de atenuación por lluvia para la banda Ku del sistema de satélites SOLIDARIDAD.

| Servicio                                      | SCPC en TP. Lincalizado | SCPC    | TV Digital a Tp. Completo | TV Digital a Medio Tp. | Teleaudición Digital |
|---|-------------------------|---------|---------------------------|------------------------|----------------------|
| <b>Parámetros de operación</b>                |                         |         |                           |                        |                      |
| Bo <sub>1</sub> (dB)                          | 7.5                     | 8.5     | 1.0                       | 3.0                    | 8.5                  |
| Bo <sub>2</sub> (dB)                          | 5.1                     | 4.0     | 0.3                       | 2.0                    | 4.0                  |
| <b>DENSIDADES DE INTERFERENCIA EN (dB-HZ)</b> |                         |         |                           |                        |                      |
| <b>INTERMODULACION ASCENDENTE</b>             | - 106.0                 | - 106.0 | - 115.15                  | - 108.3                | - 106.0              |
| <b>DESCENDENTE</b>                            | - 100.7                 | - 100.7 | - 100.7                   | - 100.7                | - 100.7              |
| <b>SATELITE ADYACENTE ASCENDENTE</b>          | - 120.0                 | - 122.5 | - 115.15                  | - 108.30               | - 122.5              |
| <b>DESCENDENTE</b>                            | - 12.5                  | - 12.0  | - 16.70                   | - 8.75                 | - 12.5               |
| <b>POLARIZACION CRUZADA ASCENDENTE</b>        | - 112.6                 | - 112.6 | - 115.15                  | - 108.3                | - 112.6              |
| <b>DESCENDENTE</b>                            | - 106.5                 | - 106.5 | - 115.15                  | - 108.3                | - 106.5              |
| <b>CANALES ADYACENTES DESCENDENTES</b>        | - 110.0                 | - 110.0 | - 115.5                   | - 108.3                | - 110.0              |

Tabla 5.2. Parámetros de operación en banda Ku del sistema de satélites SOLIDARIDAD.

Las principales ventajas que se obtendrían con la utilización de esta banda de frecuencia son:

- Una de las principales ventajas que presenta el uso de esta banda es el empleo del equipo en pequeñas dimensiones, lo que supone una estación terrena pequeña, lo cual facilitaría su transportación y por lo tanto su ubicación en el lugar donde se efectuará la transmisión, y del mismo modo un acceso a lugares difíciles.
- El uso de una Antena pequeña del tipo *offset*, lo cual daría como resultado una reducción en los lóbulos laterales de la Antena, aunado a la fabricación de una sola pieza nos daría una Antena de gran confiabilidad y fácil orientación al satélite.
- El ancho de banda que se maneja es de 54 MHz por transpondedor, lo cual daría la oportunidad de subir varias portadoras con información digital comprimida en el mismo.
- Es importante mencionar que esta banda está menos saturada que la banda C, por lo tanto se podría tener más oportunidad de acceder a los transpondedores en ella.



**Banda C**

Las desventajas que se tendrían con el uso de la banda C en el servicio por satélite son:

- Potencia de transmisión. Puede ser un factor limitante para el diseño de la unidad móvil, ya que esto repercute en las dimensiones del HPA y las características de la Antena.
- Las dimensiones del equipo. Por la frecuencia empleada son de tamaño más grande que la banda Ku.
- Acceso al satélite. Debido a que esta banda se encuentra un tanto saturada se tendría una limitante en cuanto al número de estaciones terrenas transmisoras que pueden acceder a los transpondedores.
- Ancho de banda de los transpondedores. Para el caso de las portadoras digitales comprimidas en espectro también se limitan a un número reducido de portadoras debido al ancho de banda de los transpondedores que son de 36 MHz.

Las principales ventajas que se tendrían con la utilización de esta banda de frecuencias son:

- En esta banda los efectos de la atenuación debida a las precipitaciones pluviales, la absorción debida a la atmósfera y la absorción debida a hidrómetros se pueden despreciar.
- Cobertura. Esta banda tiene una cobertura nacional, gran parte de Centro América y los Estados Unidos de América.
- En cuanto a la recepción a nivel nacional, se tiene que la mayoría de las señales de televisión se encuentra en esta banda, dando como consecuencia que la mayoría de las Antenas trabajen en esta banda y con este tipo de señales.

En el diseño de la red de estaciones terrenas transportables se tiene la opción de trabajar en las bandas Ku ó C. El decidir en la utilización de una banda u otra involucra obtener factores favorables y desfavorables de una banda con respecto a la otra, como lo señalamos anteriormente. Los efectos climatológicos como la lluvia afectan más a la banda Ku que a la banda C, ya que provocan atenuación en la señal, con esto se hace necesario el aumento de la potencia en el amplificador para compensar dicha atenuación, por otro lado, este problema no se presenta en la banda C, ya que estos efectos se consideran despreciables en esta banda.

Por la finalidad primordial de que la estación terrena sea compacta, la banda Ku ofrece el empleo de equipo de menor tamaño y peso así como mayor ganancia en las Antenas utilizadas para esta banda y de diámetros pequeños, los cuales para la banda C son de mayor tamaño y peso así como Antenas de menor ganancia, lo que se refleja también en un aumento en el aspecto económico.

Las ventajas y desventajas relativas a las bandas Ku y C se pueden ver resumidas en la tabla 5.3, la última columna indica cual de las dos bandas es la recomendada para utilizarse. Al evaluar esas ventajas e inconvenientes no hay que olvidar que no todos los factores tienen igual importancia práctica y que su importancia relativa es también asunto de apreciación técnica.

## 5.2 ESTACIONES TERRENAS TRANSPORTABLES

A casi un cuarto de siglo de haberse iniciado en la transmisión de señales de televisión por medio de tecnología de punta, y por el interés de aprovechar al máximo las aplicaciones que le puede dar a su sistema de satélites a través del avance de las telecomunicaciones, ahora, México ha manifestado el deseo de contar con la infraestructura necesaria para lograr transmitir señales de televisión desde cualquier punto del interior de nuestro territorio.

Es evidente que con los satélites, el desarrollo de la telefonía rural se ha venido incrementando, logrando con esto una mayor comunicación de los mexicanos. En ocasiones no basta con solo el servicio telefónico, a veces se presentan sucesos en lugares alejados que requieren la transmisión de señales de televisión, como por ejemplo, la visita a nuestro país del C. Presidente de los Estados Unidos de Norteamérica Bill Clinton, donde visito las ruinas de Teotihuacán, el aún reciente problema en Chiapas o el pasado temblor que dejó sin comunicación a la ciudad de Puebla.

| PARAMETROS                                      | BANDA Ku  | BANDA C  | UTILIZACION MAS COMUN |
|---|---|--|-----------------------|
| Atenuación inducida por lluvia.                 | Se considera que es el factor más limitativo en un enlace diseñado en esta banda.               | En esta frecuencia sus efectos son pocos significativos.   | C                     |
| Absorción debida a hidrometeoros y atmosférica. | Esta es poco significativa, pero sí se considera en el diseño de un enlace a estas frecuencias. | Sus efectos pueden despreciarse en el cálculo de enlace.   | Ku                    |
| Potencia de transmisión al satélite.            | Se requiere de potencias bajas gracias a la <i>PIRE</i> satelital.                              | La potencia que se maneja se considera moderada.   | Ku                    |
| Cobertura de los satélites mexicanos.           | A nivel nacional es completa, con haces dirigidos a algunas regiones de E.U. y Centro América.  | Abarca toda la República Mexicana, gran parte de Centro y Sur América y los Estados Unidos.  | C                     |
| Ancho de banda de los transpondedores.          | Se cuenta con 57 MHz por transpondedor en ambas polaridades.                                    | Se tiene 40 MHz para la polarización horizontal y 80 MHz en la polarización vertical, para el caso de SATMEX V, todos los transpondedores son de 40 MHz. | Ku                    |
| Facilidades para la recepción a nivel nacional. | Esta banda tiene menos demanda en lo referido a la radiodifusión por satélite.                  | La mayoría de las señales de TV por satélite se encuentran en esta banda.  | C                     |
| Dimensiones del equipo.                         | Por la frecuencia se pueden emplear equipos pequeños.   | La Antena, guías de onda y equipo en general son de tamaño medio.  | Ku                    |

Tabla 5.3. Cuadro comparativo entre banda Ku y banda C.

#### - Antecedentes

Para transmitir señales de televisión desde donde se generen, es necesario contar con estaciones terrenas(E/T), pero al pensar en tener estaciones terrenas a lo largo y ancho de todo el territorio mexicano no resulta nada rentable, ya que se requeriría personal calificado y mucho equipo, que por

lo sofisticado resultaría muy costoso. La alternativa de contar con una red de estaciones terrenas transportables es la solución para transmitir señales de televisión desde el lugar donde se originan, y la rentabilidad se refleja en que una misma estación puede desplazarse por todo el territorio cubriendo los eventos temporales que ahí se generen.

La alternativa de utilizar estaciones terrenas móviles transportables ha tenido su evolución. Las estaciones terrenas móviles transportables iniciaron operando únicamente en la banda C, siendo la estación el remolque de un trailer donde se llevaban los equipos para las cadenas de transmisión y recepción, así como la Antena, la cual iba segmentada en pétalos desarmados al igual que el soporte de la misma. La figura 5.2 muestra este tipo de estaciones terrenas móviles transportables.

Esta primera generación de estaciones móviles transportables presentaban entre otros problemas el requerir de una gran cantidad de personal técnico para el armado y montaje de la estación, la dificultad en el acoplamiento de los pétalos, tratando de obtener la máxima ganancia real de la Antena, además de lo pesado de transportar el equipo que se necesita para operar en la banda C.

Siendo el problema principal de la primera generación la pérdida generada en la incapacidad de lograr un acoplamiento perfecto entre pétalos, surgió la necesidad de pensar en nuevas formas de acoplamiento, llegando así a la segunda generación, la cual presentaba la innovación de una Antena con el plato de una sola pieza. Esta generación redujo la cantidad de personal técnico necesario para el montaje de la estación en campo y aumento el rendimiento de la misma por las características de la Antena, la figura 5.3 muestra la segunda generación de las estaciones terrenas móviles transportables.

Para la generación actual de estaciones terrenas móviles transportables se aprovechan los avances de la tecnología, con la fabricación de equipos más compactos para las cadenas de transmisión y recepción, e innovando con la adaptación de una Antena plegable colocada en la parte superior de la estación, la cual también se compacta al reducir el chasis de un camión con un contenedor construido totalmente de aluminio, que no supera los cuatro metros de longitud. Estas estaciones para poder ser operadas sólo requieren de dos personas, ya que se ahorra mucho tiempo en la

facilidad de orientar la Antena, lo cual muestra el último logro alcanzado en esta evolución. Este tipo de estaciones se muestra en la figura 5.4.

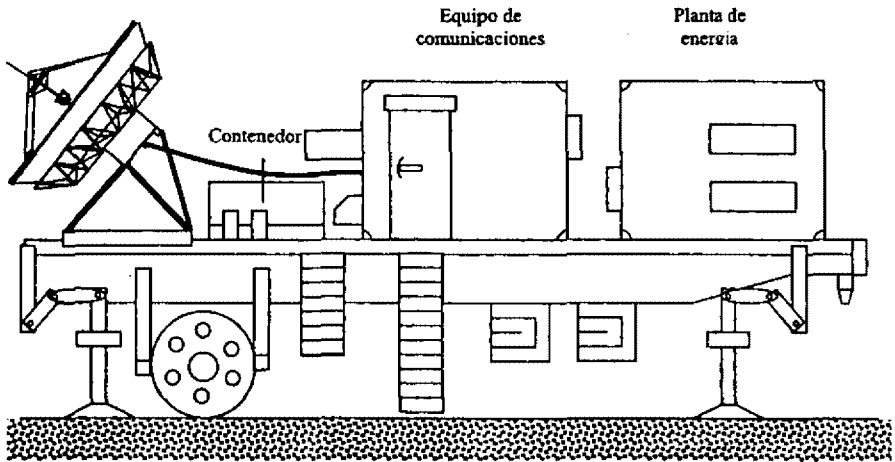


Figura 5.2. Primera generación de E/T móviles transportables.

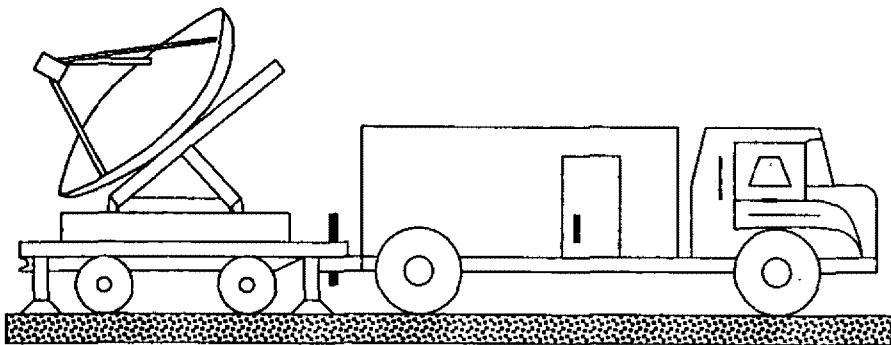
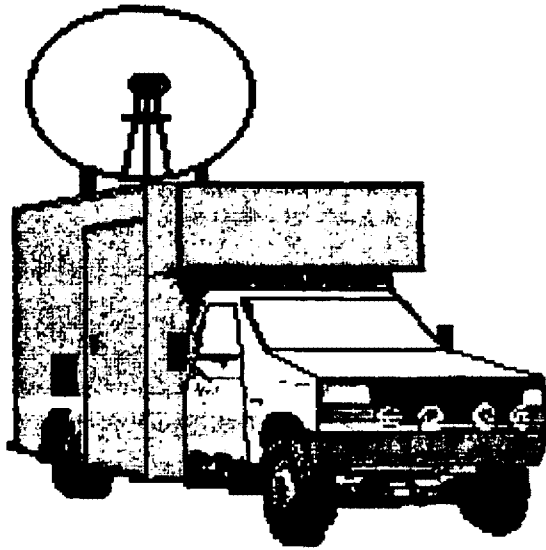


Figura 5.3. Segunda generación de E/T móviles transportables.



*Figura 5.4. E/T móvil Transportable tercera generación.*

### 5.3 CONFIGURACION DE LA RED

Para el establecimiento de la red es necesario manejar cierta información previa, para poder definir la secuencia de su enlace desde su inicio hasta su final, mencionando las aplicaciones de la red misma. Por ejemplo, se debe definir la capacidad de la estación terrena central o maestra, la cual será una estación terrena fija capaz de aceptar la comunicación con las cuatro estaciones terrenas móviles transportables al mismo tiempo o con una sola a la vez, lo cual una vez definido influirá en las dimensiones y equipamiento de la misma. La estación terrena maestra es el punto intermedio entre el usuario y el lugar donde se suscita el evento, así que se encarga de apoyar a la estación terrena móvil transportable en los ajustes de nivel y calidad de las imágenes transmitidas antes de hacerlas llegar al usuario. La estación terrena maestra puede estar o no equipada con los elementos necesarios para establecer comunicación con las cuatro terminales de la red al mismo tiempo, esto implicaría tener cuatro terminales telefónicas, cuatro faxes y cuatro de datos; si sólo se requiere el

equipo para comunicación con una terminal a la vez, debe poseer un medio de indicación a las otras terminales cuando el canal de comunicación está siendo ocupado con una sola línea telefónica, un fax y una para datos.

Para la utilización de las estaciones terrenas móviles transportables se designará un transpondedor en cualquiera de las dos bandas Ku ó C, y para el caso de señales de TV se puede aprovechar más si se considera la opción de video comprimido, lo cual implicaría que tanto las estaciones terrenas transportables como la estación terrena maestra posean este tipo de equipo para la transmisión de más de una señal por transpondedor.

### **Planeación de la red**

Es importante definir las necesidades de servicio que se pretende cubrir con la red de estaciones terrenas, así como su tamaño y capacidad para así poder realizar un análisis de los requerimientos técnicos y económicos que serán necesarios. A continuación se mencionan las características generales de la red.

Se plantea inicialmente una red conformada por cuatro estaciones terrenas móviles transportables, controladas por una estación terrena fija maestra, cuya función será controlar y distribuir el tráfico que se curse por la red.

Las características que se pretende tener en la red son:

En las estaciones terrenas móviles transportables:

- Transmisión de una portadora de video con la norma NTSC y dos señales de audio digital, ya sea dos audios monoaurales o un audio estéreo.
- Transmisión de una portadora de datos de 128 kbps, la cual servirá para la coordinación técnica con el personal de la estación terrena maestra.
- Recepción de una señal de video con uno o dos audios asociados.
- Recepción de una portadora de datos provenientes de la estación terrena maestra con fines de coordinación.
- Capacidad de monitoreo y procesamiento de la señal en banda base provenientes del usuario o del satélite.

- Autosuficiente en energía eléctrica.

En la estación terrena maestra:

- Recepción de cuatro portadoras de video comprimido norma NTSC, con dos audios asociados a cada una de las portadoras de video.
- Recepción de cuatro portadoras de datos de 128 kbps provenientes de cada una de las estaciones terrenas para la coordinación técnica de los eventos que se cursen por la red.
- Transmisión simultánea de cuatro portadoras de datos de 128 kbps con destino a cada una de las estaciones terrenas para la coordinación técnica.
- Capacidad de monitoreo y procesamiento de las señales en banda base provenientes del satélite.
- Capacidad para la entrega de señales al usuario final (cable coaxial, radio enlaces, fibra óptica).
- Autosuficiencia en energía eléctrica.

Es importante mencionar que los equipos de transmisión y recepción estarán configurados en sistemas de redundancia 1 + 1, esto para tener mayor confiabilidad en el enlace.

### **Elementos que componen la estación terrena móvil transportable**

Una estación terrena móvil transportable consta básicamente de:

- Vehículo.
- Antena.
- Subsistema de amplificadores de potencia (HPA).
- Subsistema de amplificadores de bajo nivel de ruido (LNA/LNB).
- Subsistema de compresores de video y audio.
- Subsistema de moduladores.
- Subsistema de convertidores ascendente y descendente.
- Subsistema de receptores de video digital.
- Equipo de medición y monitoreo.
- Equipo transreceptor de voz, fax y datos.
- Subsistema de energía.



Con sistemas redundantes, especialmente en la parte de transmisión.

#### **5.4 DESCRIPCION DE LA OPERACION DE LA ESTACION TERRENA MOVIL**

Como se ha comentado una estación terrena está conformada principalmente por las partes de transmisión y recepción.

##### **Lado de Transmisión**

La señal de televisión de color NTSC con su video y audio asociados, se introducen a la estación terrena transportable vía el panel de conectores que estará localizado a un lado del vehículo y entonces se alimentan a la unidad de parcheo de audio y video dentro del contenedor. Posterior a la unidad de parcheo, las señales de audio y video alimentan al subsistema amplificador de distribución de video y audio, en los cuales se asegura que los niveles de banda base son los apropiados para alimentar a las dos cadenas de transmisión.

Las dos cadenas de transmisión deberán estar arregladas en una configuración 1 + 1 para una máxima confiabilidad. Cada cadena consiste de un codificador de video, módem, convertidor de subida y un amplificador de potencia. Los codificadores de video codifican la señal NTSC de color y dos canales de audio asociados dentro de un flujo de bits digitales a una velocidad predeterminada, según los requerimientos del usuario.

El módem acepta la salida proveniente del codificador de video y la modula, esta salida entonces alimenta a los convertidores de subida para una conversión en la banda Ku o C. La señal de salida del convertidor de subida entra al amplificador de potencia, en donde es amplificada a la potencia que se requiera, antes de ser alimentada a un puerto de transmisión de la Antena.

##### **Lado de Recepción**

En el lado de recepción, la señal de radiofrecuencia proveniente del satélite es recibida por la Antena y es amplificada por el LNA. La señal del LNA alimenta a un divisor de radiofrecuencia. La salida del divisor alimenta al subsistema de recepción.

El subsistema de recepción consiste de un convertidor de bajo ruido LNB (LNB: Low Noise Block, Bloque de bajo ruido) de alta estabilidad y de un receptor/decodificador integrados IRD (Integrated Receiver Decoder, Receptor decodificador Integrado). El LNB convierte la banda Ku o C de recepción, a la banda L, que es una banda de frecuencia intermedia.

El receptor/decodificador selecciona la señal de video comprimida deseada del espectro de banda L y entonces demodula la señal recibida, produciendo las salidas de video y audio, que a su vez alimentan al panel de conectores localizado a un lado de la unidad, vía el subsistema de amplificación de video y audio y a la unidad de parcheo de banda base.

### **Descripción de equipo del vehículo**

Para instalar los equipos que van en la estación terrena móvil, se requiere de un vehículo con las siguientes características.

- Chasis de camioneta o camión. El chasis debe contar con frenos hidráulicos, planta de energía, batería de alta capacidad, aire acondicionado, iluminación de tablero y cabina de control.
- Cuerpo del vehículo. El cuerpo del vehículo se dará en base a las dimensiones de los equipos que se requerirán en el diseño, además deberá contar con paredes, piso y techo cubiertas por una superficie antiestática, así como en su interior algunos equipos de seguridad e iluminación interior y exterior suficiente.

### **Subsistema de Antena**

La Antena de la estación terrena transportable que opera vía satélite deberá ser de alto desempeño, contar con diseño aerodinámico y movimiento motorizado. El montaje completo de la Antena arriba del vehículo resultaría en una instalación económica para que aproveche al máximo el espacio del vehículo. Esto hace posible un apuntamiento rápido y un plegado y desplegado sin riesgos de dañar la Antena.

La superficie del reflector deberá estar formado por materiales de alta resistencia y ligero como la fibra de vidrio, asegurando una exactitud en toda sus superficies y una durabilidad de larga vida. El

alimentador proveerá características excelentes de iluminación en las bandas de las frecuencias empleadas para la transmisión. Los lóbulos laterales deberán cumplir con el requerimiento de la norma del patrón de transmisión requerido por la FCC, para un espaciamiento de 2 grados. El alimentador deberá proveer además un excelente valor de aislamiento en polarización cruzada.

La Antena tendrá que contar con un sistema de posicionamiento motorizado de tres ejes: elevación, acimut y polarización que serán controlados desde el interior del vehículo.

Debido a la información de datos que se manejarán en la red satelital, y las necesidades antes expuestas, la Antena que se requiere deberá ser de dimensión pequeña, por lo que al consultar un manual de Antenas parabólicas estándares para estaciones terrenas móviles, que manejan las principales compañías abastecedoras de éstas, se concluyó que una Antena de 2.4 m de la compañía ANDREW sería la conveniente. Además se escogió la de 2.4 m debido a la dimensión que se tiene en el toldo del camión, ya que con esta dimensión quedaría justo en el toldo y por lo tanto sería mas practica para su transportación.

En la tabla 5.4 se muestra una porción de la tabla que se consultó en el manual de equipo de radiofrecuencia para estaciones terrenas móviles.

| Tamaño<br>( m ) | Banda | Ganancia Tx<br>( dB ) | Ganancia Rx<br>( dB ) | G/T  |
|-----------------|-------|-----------------------|-----------------------|------|
| 1.8             | Ku    | 46.6                  | 45.1                  | 23.6 |
| 2.4             | Ku    | 49.5                  | 47.6                  | 26.3 |
| 3.6             | Ku    | 52.00                 | 50.7                  | 28.9 |
| 3.7             | Ku    | 53.3                  | 51.8                  | 30.3 |
| 4.5             | Ku    | 53.8                  | 52.6                  | 30.8 |

Tabla 5.4. Especificaciones de Antenas para Estaciones Terrenas Móviles.

### **Subsistema de amplificadores de potencia**

El amplificador de potencia lo seleccionaremos en base al cálculo del enlace que realizaremos posteriormente, se deberá emplear una configuración 1 + 1 a fin de tener una alta confiabilidad.

Algunas características de los amplificadores de potencia utilizados en estaciones terrenas móviles son:

- El subsistema completo de HPA debe estar contenido en un chasis único resultando en un diseño compacto.
- La instalación y mantenimiento deberán ser sencillos, con acceso simplificado a todos los sub-ensambles críticos.
- Operación sencilla.
- Emplear enfriamiento de aire forzado.
- Un sistema de paro automático que continuamente monitorea los parámetros críticos y toma las acciones bajo condiciones de falla, las cuales previenen un daño en el TWT.
- Un sistema de supervisión y control que provee el desplegado y monitoreo de un rango amplio de parámetros, junto con una secuencia de inicio y parada automáticos durante la operación normal y bajo condiciones de falla.
- Bajo ruido en todos los estados de operación.

### **Subsistema de radiofrecuencia**

La señal de entrada del sistema de radiofrecuencia generalmente viene de la salida del excitador de video, vía un conector de entrada y el aislador.

En este subsistema un atenuador variable se proveerá a la entrada. El nivel de RF para el Amplificador intermedio de estado sólido será controlado por un atenuador variable. El atenuador deberá ser controlado desde el panel de control del HPA o a través de una interfaz remota. Los aisladores se utilizarán hasta el final de la entrada de RF y la configuración del amplificador de estado sólido para mantener el acoplamiento del circuito de transmisión.

**Subsistema de convertidores de subida**

El subsistema de convertidores de subida consistirá de 2 convertidores de subida de alta calidad de bajo ruido. Los 2 convertidores de subida son conectados a sus respectivos módems y amplificadores en las dos cadenas de transmisión.

Estos llevan a cabo la doble conversión de frecuencia, trasladando una o más portadoras en la banda de los MHz a la entrada, a una o más frecuencias portadoras en la banda de los GHz. También estarán integrados completamente, de manera que requerirán únicamente energía primaria de AC y una portadora de FI de entrada, para proporcionar una portadora de RF de salida.

**Subsistema de módems**

El subsistema de módems también contarán con una configuración redundante 1 + 1, para tener una flexibilidad en la configuración, que puede ser seleccionable en campo para un usuario cuyas necesidades son únicas o que pueden variar con el tiempo. Un resumen de las características principales de operación son:

- Velocidades variables para el caso de video digital comprimido.
- Sintetizadores programables de Tx/Rx.
- Modulación BPSK y QPSK.
- Operación con FEC.
- Procesamiento totalmente digital.
- Probador de BER integrado.
- Sistema de Loop-Back y capacidad de auto prueba.
- Alto desempeño de BER versus Eb/No.

Todas las selecciones de configuración deberán ser hechas a través del panel frontal y cada una de las opciones pueden ser seleccionadas en campo por el usuario.

**Subsistema de codificación de video**

Este subsistema consistirá de 2 codificadores de video en configuración redundante 1 + 1, cada una de las unidades se interconectará con el subsistema amplificador de distribución de video y audio en el lado de entrada y con el subsistema de módems por el lado de salida.

El codificador de video deberá aceptar una señal de color de TV en formato NTSC, 1 canal de datos, 1 canal de control y 2 canales de audio digital provistos por un codificador de audio digital. El codificador de video codifica, digitaliza y comprime la señal de video y multiplexa todas las señales digitales dentro de un canal de datos compuesto, operando a una velocidad seleccionable por el usuario.

Utilizando la tecnología de compresión digital, el codificador de video digitaliza y comprime una señal estándar de televisión en formato NTSC, de manera que puede ser transmitida en un ancho de banda que emplea el transpondedor.

#### **Subsistema de receptor/decodificador de video**

El subsistema de recepción/decodificación de video, consistirá de dos convertidores descendentes, que son amplificadores convertidores de bajo ruido LNB, un divisor 1+2 y un receptor/decodificador IRD.

El Receptor/decodificador sintoniza la frecuencia del satélite deseada y demodula la portadora dentro de un flujo compuesto de datos. Entonces, separa el video original, el audio, los datos y las señales de control.

Las salidas del receptor/decodificador van al sistema de distribución de video/audio.

#### **Subsistema amplificador de distribución de video y audio**

El subsistema de amplificador de distribución de video y audio, consiste de lo siguiente:

- Amplificador de distribución de video VDA(VDA: Video Distribution Amplifier).
- Amplificador de distribución de audio ADA(ADA: Audio Distribution Amplifier).

Deberán existir unidades tanto en el lado transmisión como en el lado recepción, lo cual se describe a continuación:

**- Lado transmisión**

La señal de video de entrada de la unidad de parcheo estarán enlazada a través del primer VDA, así las salidas provenientes de los VDA's son usadas para distribuir la señal de entrada para las cadenas de transmisión.

**- Lado recepción**

La señal de entrada proveniente del subsistema de recepción de video alimentará al lado recepción del VDA.

Los amplificadores de distribución de audio serán además divididos en dos grupos. Uno para el programa de audio 1 y 2 en el lado de transmisión de la estación. El otro para el lado de recepción de la estación.

**Subsistema de Energía**

La estación terrena transportable será diseñada para operar con su propio generador o de una línea comercial.

**Equipo de Medición y Monitoreo**

Se deberá contar con un equipo para medición y monitoreo en cada una de las estaciones transportables, como son:

- Analizador de espectros.- Se usará para el monitoreo y medición del espectro recibido.
- Monitor forma de onda.- Se usará para monitorear las formas de onda de la señal transmitida o recibida.
- Generador de patrones de video.- Se usará para ajuste y pruebas previos a la transmisión.
- Monitor de color.- Se usará para monitorear la imagen de la señal transmitida o recibida.

**5.5 DESCRIPCION DEL EQUIPO UTILIZADO EN LA ESTACION TERRENA MAESTRA****Elementos que componen la estación terrena maestra**

Los elementos que componen la estación terrena maestra son:

- Antena.
- Subsistema amplificadores de potencia.
- Subsistema de convertidores de bajada (LNA/LNB).
- Subsistema de convertidores ascendentes y descendente.
- Subsistema de receptores de video digital.
- Equipo de medición y monitoreo.
- Subsistema de distribución de señales recibidas.
- Equipo transreceptor de voz, fax y datos.

En la Figura 5.5 se muestra el diagrama de bloques del equipamiento en la estación terrena (NEC) de 7.6 metros instalada en la Cd. De México ( CONTEL, Iztapalapa ).

El equipo consiste en un amplificador por un divisor 1:2 y cables de interconexión.

Este equipo proporcionará la transmisión/recepción de las señales de video voz y datos provenientes de las estaciones terrenas móviles transportables simultáneamente.

### **Servicio de Voz y Datos**

Con esta opción, las estaciones terrenas móviles transportables tendrán la capacidad de transmitir las señales de voz y datos entre las E/T transportables y la E/T maestra. Con la cual, el personal de operación en las estaciones terrenas móviles transportables podrán comunicarse directamente con el personal técnico en la E/T maestra, o con el centro de control de satélites para efectos de coordinación y ajustes, usando un canal de voz a 16 kbps o menor velocidad. Para realizar esto, se necesita transmitir una portadora digital a 128 kbps desde la E/T transportable en el mismo transpondedor en que está la portadora de video en el satélite. Del mismo modo, la E/T maestra en México, transmitirá una portadora de regreso a 128 kbps a la E/T transportable, para lograr una comunicación Full-Duplex.

Se deberá entender que, si todas las E/T transportables están equipadas con el equipo para voz y datos, únicamente una de las transportables podrá comunicarse con la E/T maestra en un momento dado, debido a que ésta estará equipada únicamente con un juego de equipos para voz y datos.



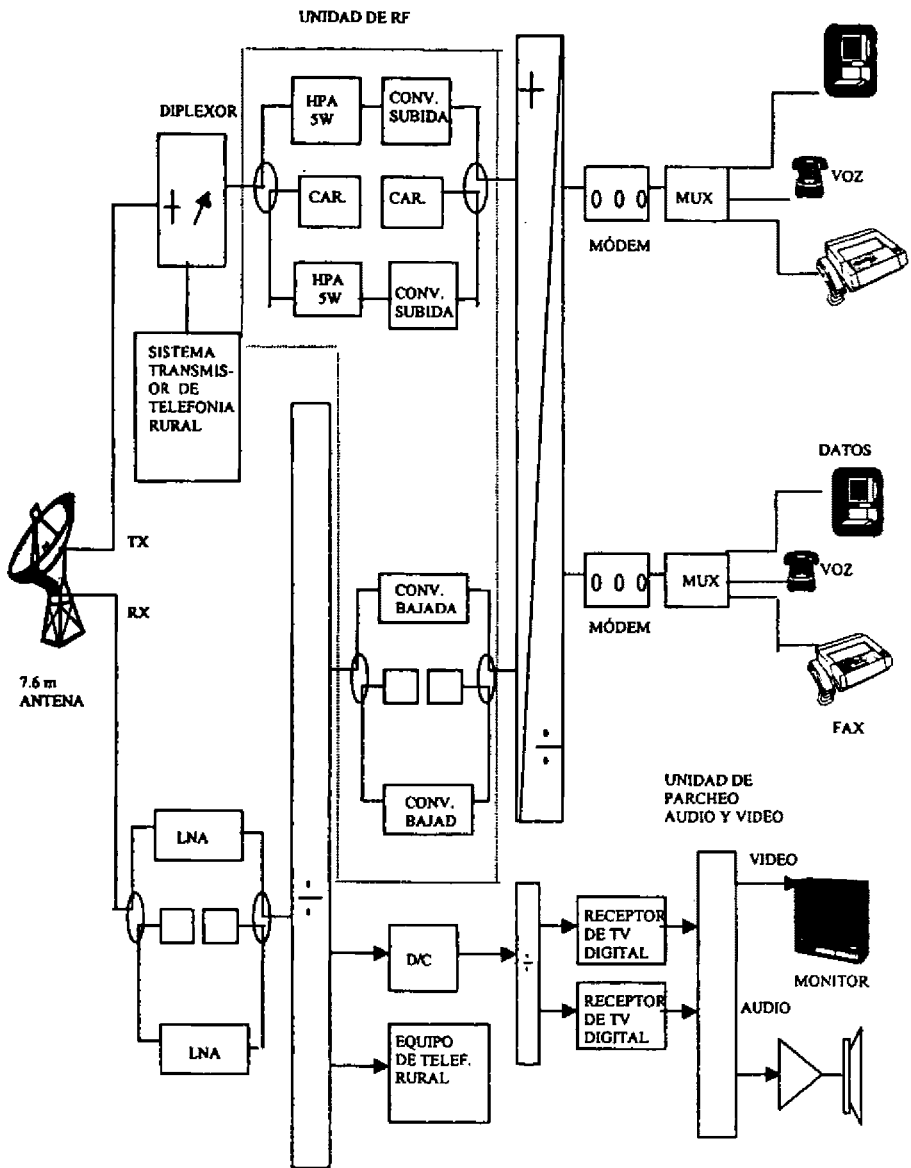


Figura 5.5. Diagrama de la E/T maestra.

Si se requiere que las cuatro estaciones puedan comunicarse al mismo tiempo con la E/T maestra, es necesario que en ésta E/T existan 4 sistemas completos para voz y datos, lo cual requeriría 8 portadoras de 128 kbps en el satélite para realizar 4 comunicaciones Full-Duplex.

### **5.5 CALCULO DEL ENLACE SATELITAL PARA SEÑALES EN LA BANDA Ku**

Actualmente Telecomunicaciones de México cuenta con una E/T maestra con una Antena parabólica de 7.6 metros de diámetro para la banda Ku, por donde cursa servicios de comunicaciones vía satélite, la cual se utilizara en nuestra red. En el caso de las estaciones móviles transportables utilizaremos una Antena de 2.4 m.

Considerando que el diseño de la red está pensado para cubrir eventos ocasionales, los cuales no tienen una regularidad, es conveniente un acceso FDMA ( Frequency Divisions Múltiple Access, Acceso Múltiple por División de Frecuencia), conocido también como SCPC (Single Channel Per Carrier, Canal Unico por Portadora), así se reducen en gran medida los equipos de cada una de las estaciones terrenas móviles transportables, ya que con cualquier otro tipo de acceso se tendrían que considerar equipos adicionales para sincronizar la red, además de que este tipo de acceso es el más adecuado cuando se piensa en la transmisión de video analógico o digital.

En cuanto a la modulación se considera una modulación digital (QPSK), esto es debido a que este tipo de modulación nos ofrece ventajas considerables sobre la modulación analógica (FM), la reducción del espectro sólo se logra si se tiene una modulación digital, esto es importante si se considera que la potencia necesaria será menor si se tiene este tipo de modulación.

El presente cálculo se maneja en dos partes, primero se calcula el enlace ascendente y descendente para la estación terrena maestra ubicada en Contel Iztapalapa México D. F., considerando que en este caso se transmitirán cuatro portadoras de voz y datos para la comunicación con las estaciones terrenas móviles transportables. En la segunda parte se realiza el cálculo del enlace ascendente y descendente para una las E/T móviles transportables ubicada en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, donde se considera la transmisión de una señal de video comprimido con dos canales de

audio, más una portadora de voz y datos para la comunicación entre la E/T maestra y la E/T móvil transportable, para ambos casos se toma en cuenta las pérdidas por atenuación por lluvia para calcular las condiciones extremas que se pudieran presentar al llevar a cabo la transmisión. Para los presentes cálculos se tomaron las ecuaciones 5.1 a la 5.27 del libro [5] de la bibliografía.

## 5.6 CALCULO DEL ENLACE DE LA PORTADORA DE VOZ Y DATOS DE LA ESTACION TERRENA MAESTRA

El presente cálculo se realiza tomando en cuenta una portadora con modulación QPSK y un tipo de accesos FDMA/SCPC que accesan desde una misma E/T ubicada en el D. F. al satélite SOLIDARIDAD I. Y la recibe una E/T móvil ubicada en la localidad de Tuxtla Gutiérrez Chiapas.

### Datos:

#### - Datos del satélite

|                        |               |
|------------------------|---------------|
| Satélite:              | SOLIDARIDAD I |
| Longitud:              | 109.2 °W      |
| Banda de operación     | Ku            |
| Región                 | 4             |
| Transpondedor          | 4K            |
| Polaridad              | H/V           |
| Frecuencia ascendente  | 14230 MHz     |
| Frecuencia Descendente | 11930 MHz     |
| Back-off de entrada    | 8.5 dB        |
| Back-off de salida     | 4.0 dB        |
| ATP                    | 15 dB         |
| AB <sub>TP</sub>       | 49 MHz        |

#### - Datos de la estación terrena transmisora y receptora

Estos datos se obtuvieron de los manuales de operación de las Antenas NEC y ANDREW.

| Localidad             | Iztapalapa, Distrito Federal | Tuxtla Gutiérrez, Chiapas |
|-----------------------|------------------------------|---------------------------|
| Latitud               | 19.35                        | 16.75 °N                  |
| Longitud              | 99.01                        | 93.11 °W                  |
| Diámetro de Antena    | 7.6                          | 2.4 m                     |
| Ganancia de Antena Tx | 59.4                         | 49.4 dBi                  |
| Ganancia de Antena Rx | 58.0                         | 47.6 dBi                  |
| Figura de mérito G/T  | 36.1                         | 26.3 dB/°K                |

**- Datos de la señal a transmitir**

|                          |          |
|--------------------------|----------|
| Velocidad de información | 128 kbps |
| Modulación               | QPSK     |
| FEC                      | 3/4      |
| Rolloff                  | 14 %     |

**Parámetros del satélite para las localidades de interés**

Estos datos se obtuvieron de tablas existentes de la empresa SATMEX del manual [3] de la bibliografía.

| Localidad | Iztapalapa, Distrito Federal | Tuxtla Gutiérrez, Chiapas |
|-----------|------------------------------|---------------------------|
| DFS       | -100.80                      | -99.00 dBW/m <sup>2</sup> |
| PIRE      | 50.50                        | 49.90 dBW                 |
| G/T       | 9.30                         | 7.40 dB/°K                |

**Ancho de banda**

El ancho de banda aquí calculado, es el que la señal de comunicación necesita para transmitirse y se relaciona con la cantidad de ruido total que afectará en las relaciones C/N que definen la calidad del enlace, dicho ancho de banda se define mediante la ecuación 5.1 como:

$$AB = \text{Vinf} (FEC)^{-1} (FM) (1 + \text{Rolloff}) \text{ (Hz)} \text{-----} 5.1$$

Donde :

Vinf = Velocidad de información.

FEC = Factor debido al código de corrección de errores por adelantado

FM = Factor de modulación, su valor depende de la modulación empleada.

Rolloff = Factor de ensanchamiento del espectro(característica de los filtros del módem)

Para obtener el valor del factor de modulación se debe saber el tipo de modulación a emplear:

Si la modulación es BPSK FM = 1.0

Si la modulación es QPSK FM = 0.5

Para nuestro caso la modulación es QPSK entonces FM ≈ 0.5

Sustituyendo valores en la ecuación 5.1 tenemos:

$$\begin{aligned} AB &= 128 \times 10^3 \left( \frac{1}{4} \right)^{-1} (0.5) (1 + 0.14) \\ &= 97.28 \text{ kHz} \end{aligned}$$

### Orientación de la Antena

Para lograr la orientación de nuestra Antena al satélite SOLIDARIDAD I necesitamos calcular los ángulos de elevación y el azimut, para dicho cálculo necesitamos conocer la posición geográfica del lugar donde la ó las E/T's móviles o fijas efectuarán su transmisión ó recepción, dicha posición queda determinada por sus coordenadas geográficas de latitud y longitud, que se definen como:

- La latitud de un lugar es la distancia angular que lo separa del Ecuador, medida en grados de arco sobre su meridiano comenzando en el Ecuador, estas pueden ser latitud norte ó latitud sur.
- La longitud de un lugar es la distancia angular entre su meridiano y otro escogido como referencia (meridiano de Greenwich), las longitudes se miden al este (E: East) ó al oeste (W: West) del meridiano de referencia.

**De la estación terrena transmisora ubicada en Iztapalapa, México D. F.**

Los ángulos de elevación se refieren a la horizontal, por lo que un ángulo de elevación de 0° se tiene cuando la Antena apunta directamente al horizonte.

Para calcular el ángulo de elevación de la Antena, usamos la ecuación 5.2, que se define como:

$$E = \text{Tan}^{-1} \left( \frac{r - R_e \text{Cos} \theta_L \text{Cos} |\theta_s - \theta_{LO}|}{R_e \text{Sen} [\text{Cos}^{-1} (\text{Cos} \theta_L \text{Cos} |\theta_s - \theta_{LO}|)]} \right) - \text{Cos}^{-1} (\text{Cos} \theta_L \text{Cos} |\theta_s - \theta_{LO}|) \text{-----} 5.2$$

Donde:

- r = Distancia del centro de la tierra al satélite.
- Re = Radio medio de la tierra.
- θ<sub>L</sub> = Latitud de la estación Terrena.
- θ<sub>s</sub> = Longitud del satélite.
- θ<sub>LO</sub> = Longitud de la estación terrena.

Por lo tanto:

- r = 42164 km.
- Re = 6378 km.
- θ<sub>L</sub> = 19.35 °N.
- θ<sub>s</sub> = 109.2 °W.
- θ<sub>LO</sub> = 99.01 °W.

Sustituyendo valores en la ecuación 5.2 tenemos:

$$E = \text{Tan}^{-1} \left( \frac{42164 \times 10^3 - 6378 \times 10^3 \text{Cos} 19.35 \text{Cos} |109.2 - 99.01|}{6378 \times 10^3 \text{Sen} [\text{Cos}^{-1} (\text{Cos} 19.35 \text{Cos} |109.2 - 99.01|)]} \right) - \text{Cos}^{-1} (\text{Cos} 19.35 \text{Cos} |109.2 - 99.01|)$$

**E = 64.49°**

El ángulo de azimut es la cantidad en grados que hay que girar la Antena (en el sentido de las manecillas del reloj) con respecto al norte geográfico de la tierra para que el eje de simetría de la Antena (prolongado imaginariamente) pase por la posición en longitud del satélite.

El ángulo de azimut está dado por la ecuación 5.3 y se define como:

$$A' = \text{Tan}^{-1} \left( \frac{\text{Tan} |\theta_s - \theta_{Lo}|}{\text{Sen} \theta_L} \right) \text{-----} 5.3$$

Para el ángulo de azimut podemos considerar los siguientes cuatro casos:

- Si la estación terrena se ubica en el hemisferio norte y la:

Estación terrena se localiza al oeste del satélite:  $A = 180 - A'$

Estación terrena se localiza al este del satélite:  $A = 180 + A'$

- Si la estación terrena se ubica en el hemisferio sur y la:

Estación terrena se localiza al oeste del satélite:  $A = A'$

Estación terrena se localiza al este del satélite:  $A = 360 - A'$

Para nuestro caso la estación terrena se encuentra localizada en el hemisferio norte y al este del satélite, por lo tanto el ángulo de azimut queda definido como:

$$A = 180 + \text{Tan}^{-1} \left( \frac{\text{Tan} |109.2 - 99.01|}{\text{Sen} 19.35} \right)$$

$$A = 208.47^\circ$$

- De la estación terrena móvil receptora ubicada en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

De la misma manera que para el D.F., calcularemos los ángulos de elevación y azimut para la Antena de nuestra estación terrena móvil receptora ubicada en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas y considerando que:

$$r = 42164 \text{ km.}$$

$$R_e = 6378 \text{ km.}$$

$$\theta_L = 16.75 \cdot N.$$

$$\theta_s = 109.2 \cdot W.$$

$$\theta_{Lo} = 93.11 \cdot W.$$

Sustituyendo valores en la ecuación 5.2 tenemos:

$$E = \tan^{-1} \left( \frac{42164 \times 10^3 - 6378 \times 10^3 \cos 16.75 \cos |109.2 - 93.11|}{6378 \times 10^3 \sin [\cos^{-1} (\cos 16.75 \cos |109.2 - 93.11|)]} \right) \\ - \cos^{-1} (\cos 16.75 \cos |109.2 - 93.11|)$$

$$E = 62.99^\circ$$

Para el cálculo del azimut de la estación terrena receptora también se encuentra en el hemisferio norte y al este del satélite, por lo que se usará la ecuación 5.3. Sustituyendo valores tenemos:

$$A = 180 + \tan^{-1} \left( \frac{\tan |109.2 - 93.11|}{\sin 16.75} \right)$$

$$A = 225.01^\circ$$



**Cálculo de las distancias de las estaciones terrenas al satélite**

Esta distancia nos servirá para calcular las pérdidas en el espacio libre de la estación terrena transmisora al satélite y del satélite a la estación terrena receptora.

**- De la estación terrena transmisora al satélite**

La distancia se calcula mediante la ecuación 5.4, que se define como:

$$d = \left( (Re + H)^2 + Re^2 - 2Re(Re + H) \text{Sen} \left[ E + \text{Sen}^{-1} \left( \frac{Re}{Re + H} \right) \text{Cos} E \right] \right)^{1/2} \text{-----} 5.4$$

Donde:

- Re = Radio medio de la tierra.
- H = Altura del satélite en la órbita geoestacionaria.
- E = Angulo de elevación de la Antena parabólica.

Por lo tanto:

- Re = 6378 km.
- H = 35783 km.
- E = 64.49°

Sustituyendo valores en la ecuación 5.4 tenemos:

$$d = \left( (6378 + 35786)^2 + 6378^2 - 26378 (6378 + 35786) \text{Sen} [ 64.49 + \text{Sen}^{-1} \left( \frac{6378}{6378 + 35786} \right) \text{Cos} 64.49] \right)^{1/2}$$

**d<sub>tx</sub> = 36507.6578 km**

- De la estación terrena receptora al satélite

Para calcular la distancia descendente, en este caso cambia solamente el valor de la elevación y los demás valores siguen igual, sustituyendo valores en la ecuación 5.4 y tomando en cuenta que el ángulo de elevación  $E = 62.99^\circ$  tenemos:

$$d = ((6378 + 35786)^2 + 6378^2 - 2 \cdot 6378 \cdot (6378 + 35786) \cdot \text{Sen} [62.99 + \text{Sen}^{-1} (\frac{6378}{6378 + 35786}) \cdot \text{Cos } 62.99])^{1/2}$$

$d_{desc} \approx 36592.4771 \text{ km}$

**Cálculo de la atenuación en el espacio libre**

- De la estación terrena transmisora al satélite

La atenuación en el espacio libre a la transmisión esta dada por la ecuación 5.5 y se define como:

$$L_{u,asc} = 20 \log \left( \frac{4 \pi F_u d_{asc}}{c} \right) \text{----- 5.5}$$

Donde:

- $L_{u,asc}$  = Perdida en el espacio libre a la transmisión.
- $F_u$  = Frecuencia ascendente.
- $d_{asc}$  = Distancia al satélite.
- $c$  = Velocidad de la luz.

Por lo tanto:

- $F_u = 14230 \text{ MHz.}$
- $d_{asc} = 36507.6578 \text{ km.}$
- $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$

Sustituyendo valores en la ecuación 5.5 tenemos:

$$L_{n,asc} = 20 \log \left( \frac{4 \pi (14230 \times 10^6) (36507.6578 \times 10^3)}{3 \times 10^8} \right)$$

$$L_{n,asc} = 206.7596 \text{ dB}$$

- De la estación terrena receptora al satélite

La atenuación en el espacio libre a la recepción está dada por la ecuación 5.6, que se define como:

$$L_{n,des} = 20 \log \left( \frac{4 \pi F_d d_{des}}{c} \right) \text{----- 5.6}$$

Donde:

$L_{n,des}$  = Perdida en el espacio libre a la recepción.

$F_d$  = Frecuencia descendente.

$d_{des}$  = Distancia del satélite.

Para nuestro caso:

$$F_d = 11930 \text{ MHz.}$$

$$d_{des} = 36592.4771 \text{ km.}$$

Sustituyendo valores en la ecuación 5.6 tenemos:

$$L_{n,des} = 20 \log \left( \frac{4 \pi (11930 \times 10^6) (36592.4771 \times 10^3)}{3 \times 10^8} \right)$$

$$L_{n,des} = 205.2484 \text{ dB}$$

**Cálculo de la relación (C/N)**

En todo sistema de comunicación la presencia de ruido es algo inevitable que genera una degradación de la señal útil. La relación portadora a ruido (C/N), se refiere a la diferencia existente entre la potencia de la señal que se transmite y la potencia de ruido existente en el sistema, la utilizaremos como el indicador de la calidad de comunicación en el sistema de microondas vía satélite.

- **(C/N) ascendente**

La relación (C/N) ascendente está dada por la ecuación 5.7 y se define como:

$$(C/N)_{asc} = \Omega_{sat/dst} - 10 \log \left( \frac{4 \pi F_r^2}{c^2} \right) + (G/T)_{sat} - 10 \log k - 10 \log AB - Bo_i - \mu_{asc} + ATP \text{ ----- } 5.7$$

Donde:

- $\Omega_{sat/dst}$  = DFS por cada portadora.
- $(G/T)_{sat}$  = Cifra de mérito del satélite.
- k = Constante de Boltzman.
- AB = Ancho de banda de la portadora.
- $Bo_i$  = Back-off de entrada.
- $\mu_{asc}$  = Margen de atenuación por lluvia.
- ATP = Atenuador de posición.

Y  $\Omega_{sat/dst}$  está definida por la ecuación 5.8 como:

$$\Omega_{sat/dst} = DFS_{sat-to-ter} - B_{oi} + 10 \log (AB/AB_{TP}) + ATP \text{ ----- } 5.8$$

Donde:

- $DFS_{sat-to-ter}$  = Densidad de Flujo de Saturación del satélite.
- $AB_{TP}$  = Ancho de banda del transponder.

Así:

$$\text{DFS}_{\text{máx}} = -100.8 \text{ dBW/m}^2$$

$$B_{0i} = 8.5 \text{ dB}$$

$$AB = 97.28 \text{ KHz.}$$

$$AB_{\text{TP}} = 49 \text{ MHz.}$$

$$ATP = 15 \text{ dB}$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación 5.8 obtenemos:

$$\begin{aligned} \Omega_{\text{máx}} &= -100.8 - 8.5 + 10\log(97.28 \times 10^3 / 49 \times 10^6) + 15 \\ &= -121.3217 \text{ dBW/m}^2 \end{aligned}$$

tomando en cuenta que:

$$(G/T)_{\text{máx}} = 9.3 \text{ dB / } ^\circ\text{K}$$

$$k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J / K}$$

$$\mu_{\text{máx}} = 6.30 \text{ dB, para una disponibilidad del 99.9\%}$$

Sustituimos valores en la ecuación 5.7 y obtenemos:

$$\begin{aligned} (C/N)_{\text{máx}} &= -121.3217 - 10 \log \left( \frac{4 \pi (14230 \times 10^6)}{3 \times 10^8} \right) + 9.3 - 10\log 1.38 \times 10^{-23} - \\ &10\log(97.28 \times 10^3) - 8.5 - 6.3 + 15 \\ (C/N)_{\text{máx}} &= 22.3795 \text{ dB} \end{aligned}$$

Para obtener el valor de C/N ascendente total se tiene que tomar en cuenta las interferencias de intermodulación, polarización cruzada y por satélite adyacente que intervienen en el cálculo del enlace, las cuales se calcularán a continuación.

-  $C/I_{interm asc}$

$C/I_{interm asc}$ , razón de potencia de portadora respecto de la potencia del ruido de intermodulación en el HPA de la E/T transmisora está definida mediante la ecuación 5.9 como:

$$C/I_{interm asc} = - HPA_{int asc} - IPBO_i - 10 \text{ Log (AB)} \text{-----} 5.9$$

Donde:

- $HPA_{int asc}$  = Densidad de interferencia de intermodulación ascendente.
- $IPBO_i$  = Back-off de entrada de entrada de portadora.

Tomando el valor del  $HPA_{int asc}$  es:

$$HPA_{int asc} = -106 \text{ dB-Hz}$$

El  $IPBO_i$  se define por medio de la ecuación 5.10 como:

$$IPBO_i = DFS_{sat-sat} - PIRE_{E/T} + L_{dis} + ATP + L' + \mu_{asc} \text{-----} 5.10$$

Donde:

La  $PIRE_{E/T}$  se define por medio de la ecuación 5.11 como:

$$PIRE_{E/T} = \Omega_{sat/dst} + L_{dis} \text{-----} 5.11$$

Donde:

$L_{dis}$  = Pérdida por dispersión

Y ésta se define por medio de la ecuación 5.12 como:

$$L_{dis} = 10 \text{ log } (4 \pi d_{sc}^2) \text{-----} 5.12$$

Sustituyendo los valores obtenidos en la ecuación 5.12 tenemos:

$$\begin{aligned} L_{\text{dis}} &= 10 \log (4 \pi (36507.6578 \times 10^3)^2) \\ &= 162.2398 \text{ dB} \end{aligned}$$

Así mismo sustituyendo valores en la ecuación 5.11 tenemos:

$$\begin{aligned} \text{PIRE}_{ET} &= -121.3217 + 162.2398 \\ &= 40.9181 \text{ dB} \end{aligned}$$

Sustituyendo valores en la ecuación 5.10 tenemos:

$$\text{IPBO}_i = -100.80 - 40.9181 + 162.2398 + 15 + 0.50 + 6.30$$

$$\text{IPBO}_i = 42.3217 \text{ dB}$$

Sustituyendo valores en la ecuación 5.9 tenemos:

$$\begin{aligned} \text{CI}_{\text{interm asc}} &= -(-106.00) - 42.3217 - 10 \log (97.28 \times 10^3) \\ &= 13.7980 \text{ dB.} \end{aligned}$$

$$- \text{C/X}_{\text{pol cruz asc}}$$

$\text{C/X}_{\text{pol cruz asc}}$  se define como la razón de potencia de portadora respecto de las señales en la polaridad contraria que van hacia el mismo satélite y se define por medio de la ecuación 5.13 como:

$$\text{C/X}_{\text{pol cruz asc}} = - \text{INT}_{\text{pol cruz asc}} - \text{IPBO}_i - 10 \log(\text{AB}) \text{-----} 5.13$$

Donde:

$$\text{INT}_{\text{pol cruz asc}} = \text{Densidad de interferencia de polarización cruzada ascendente}$$

Y su valor es de:

$$\text{INT}_{\text{pol cruz asc}} = - 112.6 \text{ dB-Hz}$$

Substituyendo valores en la ecuación 5.13 tenemos:

$$\begin{aligned} \text{C/X}_{\text{pol cruz asc}} &= - (- 112.6) - 42.3217 - 10 \log (97.28 \times 10^3) \\ &= 20.3980 \text{ dB} \end{aligned}$$

-  $\text{C/X}_{\text{sat ady asc}}$

$\text{C/X}_{\text{sat ady asc}}$  se define como la razón de potencia de portadora respecto de señales que van dirigidas hacia los satélites colindantes al este o al oeste, que por condiciones del patrón de radiación de las Antenas de tierra en transmisión, son dirigidas hacia nuestro satélite, esta interferencia puede calcularse por medio de la ecuación 5.14, que se define como:

$$\text{C/X}_{\text{sat ady asc}} = - \text{INT}_{\text{sat ady asc}} - \text{IPBOi} - 10 \log (\text{AB}) \text{-----} 5.14$$

Donde:

$$\text{INT}_{\text{sat ady asc}} = \text{Densidad de interferencia de satélite adyacente ascendente}$$

Y su valor es de:

$$\text{INT}_{\text{sat ady asc}} = - 122.5 \text{ dB-Hz}$$

Substituyendo valores en la ecuación 5.14 tenemos:

$$\begin{aligned} \text{C/X}_{\text{sat ady asc}} &= - (-122.5) - 42.3217 - 10 \log (97.28 \times 10^3) \\ &= 30.2980 \text{ dB} \end{aligned}$$



**(C/N) ascendente total**

La relación (C/N) ascendente total está dada por la ecuación 5.15 y se define como:

$$C/N_{asc\ total} = 10 \log \left( \frac{1}{\frac{1}{\log^{-1} \left( \frac{C/N_{asc\ tot}}{10} \right)} + \frac{1}{\log^{-1} \left( \frac{C/I_{interm\ asc}}{10} \right)} + \frac{1}{\log^{-1} \left( \frac{C/I_{pol\ cruz\ asc}}{10} \right)} + \frac{1}{\log^{-1} \left( \frac{C/I_{sat\ ady\ asc}}{10} \right)}} \right) \quad 5.15$$

$$C/N_{asc\ total} = 10 \log \left( \frac{1}{\frac{1}{\log^{-1} (22.3795)} + \frac{1}{\log^{-1} (13.7980)} + \frac{1}{\log^{-1} (20.3980)} + \frac{1}{\log^{-1} (30.2980)}} \right)$$

**(C/N)<sub>asc tot</sub> = 12.3999 dB**

- **(C/N) descendente**

La relación (C/N) descendente está definida por la ecuación 5.16 como:

$$(C/N)_{des} = PIRE_{p/des} - 20 \log \left( \frac{4 \pi F_d d_{des}}{c} \right) + (G/T)_{Rx} - 10 \log k - 10 \log AB - Bo_o - L' - \mu_{des} \quad 5.16$$

Donde:

- PIRE<sub>p/des</sub> = PIRE por cada portadora.
- (G/T)<sub>Rx</sub> = Cifra de mérito de la E/T receptora.
- Bo<sub>o</sub> = Back-off de salida.
- L' = Pérdidas por absorción atmosférica y por error de apuntamiento.
- μ<sub>des</sub> = Margen de atenuación por lluvia descendente

Por lo que:

$$(G/T)_{Rx} = 26.3 \text{ dB/}^\circ\text{K}$$

$$Bo_o = 4 \text{ dB}$$

$$L' \approx 1.5 \text{ dB}$$

$$\mu_{des} = 6.20 \text{ dB, para una disponibilidad del 99.9\%}$$

Para calcular la  $PIRE_{pdes}$  utilizamos la ecuación 5.17, que se define como:

$$PIRE_{pdes} = PIRE_{sat} + 10 \log( AB/AB_{TP} ) \text{-----} 5.17$$

Donde:

$$PIRE_{sat} = \text{PIRE del satélite.}$$

Y su valor es de:

$$PIRE_{sat} = 49.90 \text{ dBi}$$

Substituyendo valores en la ecuación 5.17 tenemos:

$$\begin{aligned} PIRE_{pdes} &= 49.90 + 10 \log( 97.28 \times 10^3 / 49 \times 10^6 ) \\ &= 22.8783 \text{ dBW} \end{aligned}$$

Tomando en cuenta que:

$$(G/T)_{Rx} = 26.3 \text{ dB/}^\circ\text{K}$$

$$Bo_o = 4.0 \text{ dB}$$

$$L' \approx 1.5 \text{ dB}$$

Substituyendo valores en la ecuación 5.16 obtenemos:

$$(C/N)_{des} = 22.8783 - 20 \log \left( \frac{4 \pi (11930 \times 10^6)( 36592.4771 \times 10^3 )}{3 \times 10^8} \right) + 23.7 -$$

$$10 \log( 1.38 \times 10^{-23} ) - 10 \log( 97.28 \times 10^3 ) - 4 - 1.5 - 6.2 \text{ dB}$$

$$(C/N)_{des} = 10.9508 \text{ dB}$$

-  $C/I_{\text{interm des}}$

$C/I_{\text{interm des}}$  se define como la razón de potencia de portadora respecto de la potencia del ruido de intermodulación en el HPA del satélite, y está definida mediante la ecuación 5.18 como:

$$C/I_{\text{interm des}} = -\text{SAT}_{\text{int des}} - \text{OPBOi} - 10 \text{ Log (AB)} \text{-----} 5.18$$

Donde:

$\text{SAT}_{\text{int des}}$  = Densidad de interferencia de intermodulación descendente

$\text{OPBOi}$  = Back-off de entrada de salida de portadora

Y su valor es de:

$$\text{SAT}_{\text{int des}} = -100.7 \text{ dB-Hz}$$

El  $\text{OPBOi}$  se define por medio de la ecuación 5.19 como:

$$\text{OPBOi} = \text{Bo}_o - \text{Bo}_i + \text{IPBOi} \text{-----} 5.19$$

Sustituyendo valores tenemos:

$$\text{OPBOi} = 4.00 - 8.50 + 42.3217$$

$$= 37.8217 \text{ dB}$$

Substituyendo valores en la ecuación 5.18 tenemos:

$$C/I_{\text{interm des}} = -(-100.70) - 37.8217 - 10 \text{ log } (97.28 \times 10^3)$$

$$= 12.9980 \text{ dB.}$$

-  $C/X_{pol\ cruz\ des}$

$C/X_{pol\ cruz\ des}$  se define como la razón de potencia de portadora respecto de las señales en la polaridad contraria que van hacia la Antena de la E/T y se define por medio de la ecuación 5.20 como:

$$C/X_{pol\ cruz\ des} = - INT_{pol\ cruz\ des} - OPBO_i - 10 \log(AB) \text{-----} 5.20$$

Donde:

$$INT_{pol\ cruz\ des} = \text{Densidad de interferencia de polarización cruzada descendente}$$

Y su valor es de:

$$INT_{pol\ cruz\ des} = - 106.5 \text{ dB-Hz}$$

Sustituyendo valores en la ecuación 5.20 tenemos:

$$\begin{aligned} C/X_{pol\ cruz\ des} &= - (- 106.5) - 37.8217 - 10 \log (97.28 \times 10^3) \\ &= \mathbf{18.7980 \text{ dB}} \end{aligned}$$

-  $C/X_{sat\ ady\ des}$

$C/X_{sat\ ady\ des}$  se define como la razón de potencia de portadora respecto de señales que vienen de los satélites colindantes, ésta interferencia puede calcularse por medio de la ecuación 5.21, que se define como:

$$C/X_{sat\ ady\ des} = PIRE_{sat} - ( INT_{sat\ ady\ des} - G_{rx} ) - 10 \log (AB) \text{-----} 5.21$$

Donde:

$$INT_{sat\ ady\ des} = \text{Densidad de interferencia de satélite adyacente descendente.}$$

Y su valor es de:

$$INT_{sat\ ady\ asc} = - 12.00 \text{ dB-Hz}$$

Sustituyendo valores en la ecuación 5.21 tenemos:

$$\begin{aligned} C/X_{sat\ ady\ des} &= 22.8783 - (-12.00 - 47.60) - 10 \log ( 97.28 \times 10^3 ) \\ &= 32.5980 \text{ dB} \end{aligned}$$

**(C/N) descendente total**

La relación (C/N)<sub>des total</sub> está dada por la ecuación 5.22 y se define como:

$$C/N_{des\ total} = 10 \log \left( \frac{1}{\frac{1}{\log^{-1}(C/N_{des})} \cdot 10} + \frac{1}{\log^{-1}(C/I_{interm\ des})} \cdot 10} + \frac{1}{\log^{-1}(C/I_{pot\ cruz\ des})} \cdot 10} + \frac{1}{\log^{-1}(C/I_{sat\ ady\ des})} \cdot 10} \right) \quad 5.22$$

$$C/N_{des\ total} = 10 \log \left( \frac{1}{\frac{1}{\log^{-1}(10.9508)} \cdot 10} + \frac{1}{\log^{-1}(12.9980)} \cdot 10} + \frac{1}{\log^{-1}(18.7980)} \cdot 10} + \frac{1}{\log^{-1}(32.5980)} \cdot 10} \right)$$

$$(C/N)_{des\ total} = 8.4098 \text{ dB}$$

**Relación portadora a ruido total del sistema**

La relación portadora a ruido total se define por medio de la ecuación 5.23 como:

$$(C/N)_{total} = 10 \log \left( \frac{1}{\text{antilog}(C/N_{asc\ tot} / 10) + \text{antilog}(C/N_{des\ tot} / 10)} \right) \quad 5.23$$

Sustituyendo los valores obtenidos en la ecuación 5.23 obtenemos:

$$(C/N)_{total} = 10 \log \left( \frac{1}{\frac{1}{\text{antilog}(12.3999/10)} + \frac{1}{\text{antilog}(8.4098/10)}} \right)$$

**(C/N)<sub>total</sub> = 6.9516 dB**

**C/N<sub>requerida</sub>**

La C/N<sub>requerida</sub> depende de las características del módem y de la señal de comunicación y está definida por medio de la ecuación 5.24 como:

$C/N_{requerida} = E_b/N_o + 10 \log(\text{vel inf}) - 10 \log(AB)$  ----- 5.24

Sustituyendo valores en la ecuación 5.24 tenemos:

$C/N_{requerida} = 5.0 + 10 \log(128 \times 10^3) - 10 \log(97.28 \times 10^3)$   
 $= 6.1919 \text{ dB}$

**Margen del enlace**

Al comparar a la C/N<sub>total</sub> con la C/N<sub>requerida</sub>, obtenemos el valor del margen del enlace que nos indicará finalmente si nuestro enlace cumple o no con la calidad deseada en el diseño del enlace y se define por medio de la ecuación 5.25 como:

$ME = (C/N)_{total} - (C/N)_{requerida}$  ----- 5.25

Donde:

ME = Margen del enlace

Sustituyendo valores en la ecuación 5.25 tenemos:

$$\begin{aligned} ME &= 6.9516 - 6.1919 \\ &= \mathbf{0.7597 \text{ dB}} \end{aligned}$$

El margen del enlace debe ser mayor o cuando menos igual a cero. En el caso de que el margen del enlace sea negativo, quiere decir que nuestro enlace no corresponderá a la tasa de bits erróneos planteada como condición del enlace.

### Cálculo de la potencia del HPA

Para calcular la potencia necesaria para transmitir una portadora, utilizaremos la ecuación 5.26 :

$$P_{tx-tp} = \log^{-1} \left( \frac{PIRE_{ET} - G_a + L_p}{10} \right) \quad \text{5.26}$$

Donde:

- PIRE<sub>ET</sub> = PIRE necesario para transmitir una portadora
- G<sub>a</sub> = Ganancia de Antena a la transmisión
- L<sub>p</sub> = Pérdida en el sistema de guías de onda.

Por lo que:

$$G_a = 59.4 \text{ dB}$$

$$L_p \approx 1.3 \text{ dB}$$

Finalmente sustituimos valores en la ecuación 5.26 obteniendo:

$$P_{tx-tp} = \log^{-1} \left( \frac{40.9181 - 59.4 + 1.3}{10} \right)$$

$$P_{tx-tp} = \mathbf{0.0191 \text{ Watts}}$$

Como son cuatro portadoras con las mismas características, la potencia total será multiplicada por cuatro.

$$P_{\text{total de Tx}} = 0.0765 \text{ Watts}$$

### **5.7 CALCULO DEL ENLACE DE LAS PORTADORAS DE TELEVISION, VOZ Y DATOS DE LA ESTACION TERRENA MOVIL TRANSPORTABLE**

Para estos cálculos se considerará una portadora con modulación digital QPSK de 6.6 Mbps (video y audio) con un tipo de acceso FDMA/SCPC, y una portadora de voz y datos a una velocidad de 128 kbps, que accesan desde una estación terrena móvil ubicada en Tuxtla Gutiérrez Chiapas, recibiendo la estación terrena maestra ubicada en Iztapalapa México D. F.

Tomando como base el cálculo anterior donde se calcularon los ángulos de elevación y azimut y la distancia al satélite, se procederá a realizar los dos cálculos de enlace de la estación terrena móvil con ayuda del paquete de EXCEL 97 de Windows 95. A continuación se dan los resultados obtenidos en las tablas 5.5 a la 5.12.



| Cálculo del enlace de la portadora de televisión de la E/T móvil transportable |                 |                |        |
|--|-----------------|----------------|--------|
| <b>Datos de Entrada</b>  |                 |                |        |
| Velocidad de información   | Vel. informa    | 6.600.000,0000 | bps    |
| FEC  | FEC             | 0,7500         | 3/4    |
| Factor de modulación   | FM              | 0,5000         | QPSK   |
| Ensanchamiento del filtro  | Roll-off        | 14,0000        | %      |
| Angulo de elevación de la Antena a la Tx                                       | Etz             | 62,9900        | Grados |
| Angulo de elevación de la Antena a la Rx                                       | Erx             | 64,4900        | Grados |
| Frecuencia ascendente  | Fu              | 1,4230E+10     | Hz     |
| Frecuencia descendente   | Fd              | 1,1930E+10     | Hz     |
| Atenuador de posición  | ATP             | 15,0000        | dB     |
| Ancho de banda por transpondedor   | ABtp            | 4,9000E+07     | Hz     |
| Figura de mérito de la E/T Rx  | G/T rx          | 36,1000        | dB/oK  |
| Ganancia de la Antena transmisora a la Tx                                      | G Tx            | 49,4000        | dB     |
| Ganancia de la Antena receptora a la Rx  | G Rx            | 58,0000        | dB     |
| Energía de bit a densidad a ruido  | Eb/No           | 5,5000         | dB     |
| <b>Definición de Valores Constantes</b>  |                 |                |        |
| Radio medio de la tierra   | Re              | 6,3780E+06     | m      |
| Altura del satélite  | H               | 3,5786E+07     | m      |
| Velocidad de la luz  | c               | 2,9979E+08     | m/s    |
| Constante de Boltzman  | k               | 1,3800E-23     | J/K    |
| Pérdidas por absorción atmosférica   | L'              | 1,5000         | dB     |
| Pérdidas en guías de onda  | Lgo             | 1,3000         | dB     |
| Pérdidas atmosféricas  | Lam             | 0,5000         | dB     |
| <b>Definición de Valores de Tablas</b>   |                 |                |        |
| DFS de saturación p/portadora  | DFSp/port       | -99,0000       | dBW/m2 |
| Back-off de entrada  | Boi             | 8,5000         | dB     |
| Cifra de mérito del satélite   | GT              | 7,4000         | dB/oK  |
| Margen de atenuación por lluvia a la Tx  | u Tx            | 8,2000         | dB     |
| PIRE de satélite   | PIRE sat        | 50,5000        | dBW    |
| Back-off de salida   | Boo             | 4,0000         | dB     |
| Margen de atenuación por lluvia a la Rx  | u Rx            | 4,3000         | dB     |
| Densidad de interf. intermodulación as.  | HPA int asc     | -106,0000      | dB-Hz  |
| Densidad de interf. polarización cruzada as                                    | INT pol asc     | -112,6000      | dB-Hz  |
| Densidad de interf. satélite adyacente as                                      | INT sat ady asc | -122,5000      | dB-Hz  |
| Densidad de interf. intermodulación des.                                       | SAT int des     | -100,7000      | dB     |
| Densidad de interf. polarización cruzada des                                   | INT pol des     | -106,5000      | dB     |
| Densidad de interf. satélite adyacente des                                     | INT sat ady des | -12,0000       | dB     |

Tabla 5.5. Definición de valores de entrada para el cálculo del enlace de televisión.

|                          |   |                 |        |  |
|--------------------------|---|-----------------|--------|--|
| Definición de Ecuaciones |   |                 |        |  |
|                          | Ancho de banda                                    |                 |        |  |
| 5,1                      | AB=   | 5.016.000,0000  | Hz     |  |
|                          | Distancia a el satélite                           |                 |        |  |
| 5,4                      | dasc  | 36.592.477,1577 | m      |  |
|                          | Distancia de el satélite                          |                 |        |  |
| 5,4                      | ddes  | 36.507.657,8334 | m      |  |
|                          | Atenuación en el espacio libre ascendente         |                 |        |  |
| 5,5                      | Luasc   | 206,7797        | dB     |  |
|                          | Atenuación en el espacio libre descendente        |                 |        |  |
| 5,6                      | Ludes   | 205,2283        | dB     |  |
|                          | DFS por portadora                                 |                 |        |  |
| 5,8                      | Oant/dat  | -102,3984       | dBW/m2 |  |
|                          | C/N Ascendente                                    |                 |        |  |
| 5,7                      | C/N ASCENDENTE                                    | 20,3795         | dB     |  |
|                          | Back-off de entrada de entrada de portadora       |                 |        |  |
| 5,10                     | IPBOI   | 27,0984         | dB     |  |
|                          | Interferencia por intermodulación ascendente      |                 |        |  |
| 5,9                      | C/I as  | 11,8980         | dB     |  |
|                          | Potencia del HPA por portadora                    |                 |        |  |
| 5,11                     | PIRE tx-lp  | 59,8615         | dB     |  |
|                          | Pérdidas por dispersión                           |                 |        |  |
| 5,12                     | Pérdidas por dispersión Lds                       | 162,2599        | dB     |  |
|                          | Interferencia por polarización cruzada ascendente |                 |        |  |
| 5,13                     | C/X pol-asc                                       | 18,4980         | dB     |  |
|                          | Interferencia por satélite adyacente ascendente   |                 |        |  |
| 5,14                     | C/X Sat-ady as                                    | 28,3980         | dB     |  |
|                          | Relación portadora a ruido ascendente total       |                 |        |  |
| 5,15                     | C/N as total                                      | 10,4897         | dB     |  |
|                          | Relación portadora a ruido descendente            |                 |        |  |
| 5,16                     | C/N descendente                                   | 23,2710         | dB     |  |

Tabla 5.6. Tabla de resultados de las ecuaciones 5.1 a la 5.16 del cálculo de enlace de la portadora de televisión.

|      |  |         |       |  |
|------|--|---------|-------|--|
|      | PIRE por portadora                                 |         |       |  |
| 5,17 | PIRE p/dat   | 40,6016 | dBW   |  |
|      | Back-off de entrada de salida de portadora         |         |       |  |
| 5,19 | OPBOI  | 22,5984 | dB    |  |
|      | Interferencia por intermodulación descendente      |         |       |  |
| 5,18 | C/I later des                                      | 11,0980 | dB    |  |
|      | Interferencia por polarización cruzada descendente |         |       |  |
| 5,20 | C/X pol cruz des                                   | 16,8980 | dB    |  |
|      | Interferencia por satélite adyacente descendente   |         |       |  |
| 5,21 | C/X sat ady des                                    | 43,5980 | dB    |  |
|      | Relación portadora a ruido descendente total       |         |       |  |
| 5,22 | C/N des tot  | 9,8784  | dB    |  |
|      | Relación portadora a ruido total del sistema       |         |       |  |
| 5,23 | C/N tot sis  | 7,1630  | dB    |  |
|      | Relación portadora a ruido requerido               |         |       |  |
| 5,24 | C/N requerido                                      | 6,6919  | dB    |  |
|      | Margen del enlace                                  |         |       |  |
| 5,25 | ME   | 0,4712  | dB    |  |
|      | Potencia requerida por el HPA                      |         |       |  |
| 5,26 | Ptx-1p   | 15,0022 | Watts |  |
|      | Potencia total del HPA                             |         |       |  |
|      | Ptx  | 15,0022 | Watts |  |

Tabla 5.7. Tabla de resultados de ecuaciones 5.17 a la 5.26 del cálculo de enlace de la portadora de televisión.

| Tabla de Resultados Finales de la portadora de television |       |            |             |         |           |
|---|-------|------------|-------------|---------|-----------|
|   |       | ASCENDENTE | DESCENDENTE | TOTAL   | REQUERIDO |
| ANCHO DE BANDA  | Hz    |            |             | 5016000 |           |
| C/N   | dB    | 20,3795    | 23,2710     |         |           |
| C/I   | dB    | 11,8980    | 11,0980     |         |           |
| C/X pol   | dB    | 18,4980    | 16,8980     |         |           |
| C/X sat-ady   | dB    | 28,3980    | 16,8980     |         |           |
| C/N total   | dB    | 10,4897    | 9,8784      | 7,1630  | 6,6919    |
| ME  |       |            |             | 0,4712  |           |
| POTENCIA DEL HPA  | Watts | 15,0022    |             | 15,0022 |           |

Tabla 5.8. Tabla de resultados finales del cálculo de enlace de la portadora de televisión.

| Cálculo del enlace de la portadora de voz y datos de la E/T móvil transportable |                                |              |                    |
|---|--------------------------------|--------------|--------------------|
| <b>Datos de Entrada</b>   |                                |              |                    |
| Velocidad de información  | Vel. informa                   | 128.000,0000 | bps                |
| FEC   | FEC                            | 0,7500       | 3/4                |
| Factor de modulación  | FM                             | 0,5000       | QPSK               |
| Ensanchamiento del filtro   | Rolloff                        | 14,0000      | %                  |
| Angulo de elevación de la Antena a la Tx  | Et <sub>x</sub>                | 62,9900      | Grados             |
| Angulo de elevación de la Antena a la Rx  | Er <sub>x</sub>                | 64,4900      | Grados             |
| Frecuencia ascendente   | F <sub>u</sub>                 | 1,4230E+10   | Hz                 |
| Frecuencia descendente  | F <sub>d</sub>                 | 1,1930E+10   | Hz                 |
| Atenuador de posición   | ATP                            | 15,0000      | dB                 |
| Ancho de banda por transpondedor  | AB <sub>tp</sub>               | 4,9000E+07   | Hz                 |
| Figura de mérito de la E/T Rx   | G/T rx                         | 36,1000      | dB/oK              |
| Ganancia de la Antena transmisora a la Tx                                       | G Tx                           | 49,4000      | dB                 |
| Ganancia de la Antena receptora a la Rx   | G Rx                           | 58,0000      | dB                 |
| Energía de bit a densidad a ruido   | E <sub>b</sub> /N <sub>o</sub> | 5,0000       | dB                 |
| <b>Definición de Valores Constantes</b>   |                                |              |                    |
| Radio medio de la tierra  | R <sub>e</sub>                 | 6,3780E+06   | m                  |
| Altura del satélite   | H                              | 3,5786E+07   | m                  |
| Velocidad de la luz   | c                              | 2,9979E+08   | m/s                |
| Constante de Boltzman   | k                              | 1,3800E-23   | J/K                |
| Pérdidas por absorción atmosférica  | L'                             | 1,5000       | dB                 |
| Pérdidas en guías de onda   | L <sub>go</sub>                | 1,3000       | dB                 |
| Perdidas atmosféricas   | L <sub>atm</sub>               | 0,5000       | dB                 |
| <b>Definición de Valores de Tablas</b>  |                                |              |                    |
| DFS de saturación p/portadora   | DFSp/port                      | -99,0000     | dBW/m <sup>2</sup> |
| Back-off de entrada   | Boi                            | 8,5000       | dB                 |
| Cifra de mérito del satélite  | G/T                            | 7,4000       | dB/oK              |
| Margen de atenuación por lluvia a la Tx   | u Tx                           | 8,2000       | dB                 |
| PIRE de satélite  | PIRE sat                       | 50,5000      | dBW                |
| Back-off de salida  | Boo                            | 4,0000       | dB                 |
| Margen de atenuación por lluvia a la Rx   | u Rx                           | 4,3000       | dB                 |
| Densidad de interf. intermodulación as.   | HPA int asc                    | -106,0000    | dB-Hz              |
| Densidad de interf. polarización cruzada as                                     | INT pol asc                    | -112,6000    | dB-Hz              |
| Densidad de interf. satélite adyacente as                                       | INT sat ady asc                | -122,5000    | dB-Hz              |
| Densidad de interf. intermodulación des.  | SAT int des                    | -100,7000    | dB                 |
| Densidad de interf. polarización cruzada des                                    | INT pol des                    | -106,5000    | dB                 |
| Densidad de interf. satélite adyacente des                                      | INT sat ady des                | -12,0000     | dB                 |

Tabla 5.9. Definición de valores de entrada para el cálculo de enlace de voz y datos.

|      |   |                 |        |  |
|------|---|-----------------|--------|--|
|      | Definición de Ecuaciones                          |                 |        |  |
|      | Ancho de banda                                    |                 |        |  |
| 5,1  | AB=   | 97.280,0000     | Hz     |  |
|      | Distancia a el satélite                           |                 |        |  |
| 5,4  | d <sub>asc</sub>                                  | 36.592.477,1577 | m      |  |
|      | Distancia de el satélite                          |                 |        |  |
| 5,4  | d <sub>des</sub>                                  | 36.507.657,8334 | m      |  |
|      | Atenuación en el espacio libre ascendente         |                 |        |  |
| 5,5  | L <sub>ase</sub>                                  | 206,7797        | dB     |  |
|      | Atenuación en el espacio libre descendente        |                 |        |  |
| 5,6  | L <sub>des</sub>                                  | 205,2283        | dB     |  |
|      | DFS por portadora                                 |                 |        |  |
| 5,8  | O <sub>sat/dat</sub>                              | -119,5217       | dBW/m2 |  |
|      | C/N Ascendente                                    |                 |        |  |
| 5,7  | C/N ASCENDENTE                                    | 20,3795         | dB     |  |
|      | Back-off de entrada de entrada de portadora       |                 |        |  |
| 5,10 | IPBOI   | 44,2217         | dB     |  |
|      | Interferencia por intermodulación ascendente      |                 |        |  |
| 5,9  | C/I <sub>as</sub>                                 | 11,8980         | dB     |  |
|      | Potencia del HPA por portadora                    |                 |        |  |
| 5,11 | PIRE tx-1p  | 42,7382         | dB     |  |
|      | Pérdidas por dispersión                           |                 |        |  |
| 5,12 | Pérdidas por dispersión L <sub>dis</sub>          | 162,2599        | dB     |  |
|      | Interferencia por polarización cruzada ascendente |                 |        |  |
| 5,13 | C/X pol-asc                                       | 18,4980         | dB     |  |
|      | Interferencia por satélite adyacente ascendente   |                 |        |  |
| 5,14 | C/X Sat-ady as                                    | 28,3980         | dB     |  |
|      | Relación portadora a ruido ascendente total       |                 |        |  |
| 5,15 | C/N <sub>as total</sub>                           | 10,4897         | dB     |  |
|      | Relación portadora a ruido descendente            |                 |        |  |
| 5,16 | C/N descendente                                   | 23,2710         | dB     |  |

Tabla 5.10. Tabla de resultados de ecuaciones 5.1 a la 5.16 del cálculo de enlace de la portadora de voz y datos.

|      |  |         |       |
|------|--|---------|-------|
|      | PIRE por portadora                                 |         |       |
| 5,17 | PIRE p/dat   | 23,4783 | dBW   |
|      | Back-off de entrada de salida de portadora         |         |       |
| 5,19 | OPBOI  | 39,7217 | dB    |
|      | Interferencia por intermodulación descendente      |         |       |
| 5,18 | C/I later des                                      | 11,0980 | dB    |
|      | Interferencia por polarización cruzada descendente |         |       |
| 5,20 | C/X pol cruz des                                   | 16,8980 | dB    |
|      | Interferencia por satélite adyacente descendente   |         |       |
| 5,21 | C/X sat ady des                                    | 43,5980 | dB    |
|      | Relación portadora a ruido descendente total       |         |       |
| 5,22 | C/N des tot  | 9,8784  | dB    |
|      | Relación portadora a ruido total del sistema       |         |       |
| 5,23 | C/N tot sis  | 7,1630  | dB    |
|      | Relación portadora a ruido requerido               |         |       |
| 5,24 | C/N requerido                                      | 6,1919  | dB    |
|      | Margen del enlace                                  |         |       |
| 5,25 | ME   | 0,9712  | dB    |
|      | Potencia requerida por el HPA                      |         |       |
| 5,26 | Ptx-1p   | 0,2910  | Watts |
|      | Potencia total del HPA                             |         |       |
|      | Ptx  | 0,2910  | Watts |

Tabla 5.11. Tabla de resultados de ecuaciones 5.17 a la 5.26 del cálculo de enlace de la portadora de voz y datos.

| Tabla de Resultados Finales de la portadora de voz y datos |       |            |             |        |           |
|--|-------|------------|-------------|--------|-----------|
|  |       | ASCENDENTE | DESCENDENTE | TOTAL  | REQUERIDO |
| ANCHO DE BANDA   | Hz    |            |             | 97280  |           |
| C/N  | dB    | 20,3795    | 23,2710     |        |           |
| C/I  | dB    | 11,8980    | 11,0980     |        |           |
| C/X pol  | dB    | 18,4980    | 16,8980     |        |           |
| C/X sat-ady  | dB    | 28,3980    | 16,8980     |        |           |
| C/N total  | dB    | 10,4897    | 9,8784      | 7,1630 | 6,1919    |
| ME   |       |            |             | 0,9712 |           |
| POTENCIA DEL HPA   | Watts | 0,2910     |             | 0,2910 |           |

Tabla 5.12. Tabla de resultados finales del cálculo de enlace de la portadora de voz y datos.

Por lo tanto, tomando el resultado de la potencia de la portadora de televisión y la de voz y datos, la potencia total requerida por el sistema de la E/T móvil está definida por medio de la ecuación 5.27 como:

$$P_{total\ sis} = P_{tot\ tv} + P_{tot\ voz-dat} \text{-----} 5.27$$

Sustituyendo valores en la ecuación 5.27 tenemos:

$$\begin{aligned} P_{total\ sis} &= 15.0022 + 0.2910 \\ &= \mathbf{15.2932\ Watts} \end{aligned}$$

Los resultados obtenidos en este capítulo nos dan una idea de la potencia necesaria para efectuar una transmisión desde nuestra estación terrena móvil hacia la estación terrena maestra, y es pauta para seleccionar el equipo necesario para integrar nuestra estación terrena móvil que veremos en el capítulo 6.

## **CAPITULO 6**

### **INTEGRACION DE UNA RED DE ESTACIONES TERRENAS MOVILES TRANSPORTABLES EN BANDA Ku**

En el capítulo número cinco se describieron las principales características que deben cumplir los sistemas de comunicación de acuerdo a las necesidades de nuestra red, con esta base en el presente capítulo se seleccionan los equipos que nos servirán para la integración de la misma.

Para la elección de los equipos que utilizaremos en nuestra red de E/T móviles transportables, se consideraron los equipos que actualmente existen en el mercado y que además se encuentran operando en empresas de telecomunicaciones vía satélite para servicios de televisión digital, voz y datos.

A continuación se describe el proceso de selección del equipo, de acuerdo a lo especificado en el capítulo número cinco y a los resultados del cálculo de enlace visto en el capítulo anterior.

Los equipos se seleccionaron de acuerdo a las necesidades de operación, tomando como parámetros adicionales el prestigio de marcas funcionales en el mercado. las dimensiones, la flexibilidad de operación y el consumo de energía. Obteniéndose así la integración de una unidad móvil transportable funcional.

Para la selección de los equipos que a continuación se mencionan se cotizó con diferentes proveedores de equipo para telecomunicaciones, algunos de los cuales se mencionan a continuación.



## 6.1 PROVEEDORES COMERCIALES

PROEISA, Proveedorora Electrónica Industrial S.A. DE C.V.

Paseo del Pedregal 610, Col. Jardines del Pedregal, C.P. 01900.

México D.F., Tel. 55 – 68 – 95 – 44, Fax.. 56 – 52 – 04 – 52.

ETERCOM, Estudios y Proyectos Técnicos Para Radiodifusión y Comunicaciones.

Víctor Hugo 91 Bis, Col. Portales, C.P. 03300.

México D.F., Tel. 55 – 39 – 46 – 76, Fax.. 56 – 70 – 21 – 92.

TURNKEY

Av. México 803, Santa Teresa Magdalena Contreras, C.P. 10710.

México D.F., Tel. 56 – 52 – 16 – 12, Fax. 56 – 52 – 17 – 54.

HEWLETT PACKARD DE MEXICO, S.A. DE C.V.

Monte Pelvoux 111, Lomas de Chapultepec, C.P. 11000.

México D.F., Tel. 53 – 26 – 40 – 00, Fax. 55 – 40 – 42 – 08.

ACTIVEL

Avenida Cazorla No. 694, Chula Vista C.A. 91910.

Tel. (619) 482 - 72 - 52, Fax. (619) 482 - 79 - 53 .

OTTOMOTORES, S.A. DE C.V.

Calz. San Lorenzo No 1150, Col. Cerro de la Estrella.

Delegación Iztapalapa, C.P. 09860.

México D.F., Tel. 54 – 26 – 55 – 23.

MAQUINARIA IGSA, S. A. DE C.V.

Paseo de la Reforma 2977, C.P. 05000.

México D.F., Tel. 56 – 26 – 54 – 17.

Cabe hacer mención que para la cotización de los equipos (todos de importación), no todas las empresas cotizan los equipos en su totalidad. Dado que en México hay representantes especiales para cada marca de equipo seleccionado.

En la actualidad es importante contar con equipos de gran confiabilidad en las estaciones terrenas móviles, puesto que con esto garantizamos un servicio de alta calidad hacia los clientes, lo cual hace el servicio altamente rentable. La experiencia adquirida en el área de comunicaciones en la empresa telecomunicaciones de México, sobre la operatividad y eficiencia de los equipos seleccionados fueron importantes para la selección de los equipos en cuestión.

Las marcas de los equipos seleccionados son reconocidas internacionalmente, motivo por el cual las podemos encontrar operando en empresas como: Multivisión, PCTV, T.V. Azteca, TVSA, COMSAT y Telecomunicaciones de México, entre otras.

Un factor para la decisión final de nuestra selección, es que el equipo digital es pequeño y ocupa relativamente poco espacio, aspecto sumamente importante para la instalación dentro de una E/T móvil transportable donde no hay mucho lugar disponible.

## **6.2 SUBSISTEMA DE CODIFICADORES DE VIDEO Y AUDIO**

Cumpliendo con la finalidad primordial de la red de E/T móviles transportables, para la cobertura de eventos especiales de televisión, se ha pensado en la utilización de codificadores de televisión, también en el uso de codificadores compresores de video, esto es, digitalizar la señal de televisión analógica y después comprimirla para ocupar menos espectro en el ancho de banda del transpondedor del satélite y así poder manejar en éste un número mayor de portadoras.

Como se mencionó anteriormente, el ancho de banda ocupado en el transpondedor está determinado por la velocidad de transmisión, es así, que el codificador debe ofrecer la posibilidad de cambiar la velocidad para procesar las imágenes con poco movimiento ocupando un ancho de banda aproximadamente de 2 MHz (utilizando una velocidad de información de  $\approx 3$ Mbps), hasta para

procesar imágenes en completo movimiento, lo cual ocupará un ancho de banda en el transpondedor de aproximadamente 5 MHz (utilizando una velocidad de información de  $\approx 6$  Mbps).

Dentro de esta sección no se cuenta con mucha tecnología pero sobresalen los fabricantes de ENCODER DIGICIPHER de General Instruments Corp., el cual es un sistema avanzado que digitaliza y comprime hasta diez señales de video con dos audios asociados cada uno, estos ocupan el ancho de banda de un transpondedor. Este sistema tiene una capacidad sobrada si consideramos que sólo se tendrá la necesidad de transmitir una señal de video con uno o dos audios asociados. Por otro lado se tiene la tecnología PHILLIPS que cuenta con un sistema que comprime hasta seis señales de video y audio previamente digitalizadas.

Se cuenta también con la tecnología Encoder SpectrumSaver de la empresa CLI Corp. SpectrumSaver, que es un sistema que digitaliza y comprime una señal de video con dos audios asociados, motivo por el cual es el adecuado para la aplicación que aquí se pretende, además de ser más económico por obvias razones.

Las características generales del sistema SpectrumSaver son las siguientes:

- El sistema de transmisión a satélite con SpectrumSaver usa la compresión de datos y transmisión digital para transmitir una señal de televisión.
- El codificador SpectrumSaver codifica, digitaliza y comprime la señal de video y multiplexa las señales digitales video/audio dentro de un canal de datos compuesto, operando a una velocidad seleccionable según las necesidades del usuario, de 2.9, 3.3 o 6.6 Mbps. El resultado de esta información se integra sobre una trama a través de una interfaz en el puerto de salida de datos, misma que se enrutará al equipo modulador.

Las especificaciones de este equipo se describen a continuación.

**El codificador Spectrum Saver tiene 10 módulos funcionales principales:**

1. Sistema controlador.
2. Módulo de entrada de video.
3. Módulo de salida de video.
4. Módulo de memoria.
5. Módulo transform/loop.
6. Módulo de compensación de movimiento.
7. Módulo codificador.
8. Controlador de comunicaciones.
9. Decodificador.
10. Teclado y display.

**Alimentación:**

|                     |            |
|---------------------|------------|
| Voltaje             | 90-132 VAC |
| Frecuencia          | 63 Hz      |
| Consumo de potencia | 525 Watts  |

### **Modulador para la señal de televisión**

Para la selección de este equipo, el modulador debe cumplir las siguientes condiciones:

- Velocidades variables de 2.9, 3.3 o 6.6 Mbps.
- Sintetizador programable de transmisión (Frecuencia intermedia).
- Modulación QPSK.
- Relación de FEC variable, así como operación sin FEC.
- Procesamiento total digital.
- Probador de BER integrado.
- Todas las selecciones de configuración serán hechas a través del panel frontal.

Dado que el sistema de portadoras en nuestra red abarca velocidades de información que varían de 2.9 Mbps a 6.6 Mbps, para esta parte se esta proponiendo el uso de un módem PSK cuyas características y atributos se mencionan en la tabla 6.1.

El modulador marca COMSTREAM CM236 cumple con las especificaciones propuestas.

|                          |                                 |
|--------------------------|---------------------------------|
| Modulador                | CM236                           |
| Modulación               | BPSK o QPSK                     |
| Velocidad de datos       | 2.9, 3.3 o 6.6 Mbps             |
| Rango de frecuencia      | 70 ± 18 MHz                     |
| Selección de frecuencia  | Sintetizador en pasos de 25 kHz |
| Nivel de salida          | -5 a -25 dBm                    |
| Interfaz de datos        | RS-449                          |
| Temperatura de operación | -20 A 50 °C                     |
| Alimentación:            |                                 |
| Voltaje de entrada       | 100 – 264 VAC (autoajustable)   |
| Frecuencia               | 47-63 Hz                        |
| Consumo de potencia      | 85 Watts                        |

*Tabla 6.1. Especificaciones técnicas del modulador CM236.*

### 6.3 SUBSISTEMA DE COMUNICACION ENTRE LAS ESTACIONES TERRENAS

Este subsistema se considera partiendo de la necesidad de comunicación que se tiene en el sitio de transmisión, ya que muchos lugares de la República Mexicana carecen de una infraestructura telefónica para proporcionar una línea de comunicación, por esto es necesario tener una comunicación directa entre las E/T's de la red.

Será suficiente contar con una línea de voz y una de fax. El sistema se completa insertando un canal adicional de datos a baja velocidad, el cual también estaría en condiciones de operar.

El sistema de comunicación se implementa fácilmente con un multiplexor, al cual llegarán los dos canales de voz y un canal de datos, los cuales son multiplexados y entregados a un módem de baja velocidad (128 kbps) con modulación QPSK, modulados sobre una portadora que puede oscilar entre 52 y 88 MHz. Esta señal se combinará con la portadora de video en frecuencia intermedia, y

será entregada al convertidor de subida para su enlace a satélite. Por otro lado, en la parte de recepción, la antena proveerá de la señal recibida, la cual llegará a un convertidor de bajada, que nos entregará una frecuencia intermedia, ésta será puesta en el módem que estará sintonizado a una frecuencia determinada, una vez demodulada la señal los datos serán entregados a un demultiplexor el cual pasará a su forma analógica las señales de voz y datos que llegan, lográndose la comunicación bidireccional con la estación deseada.

#### - Selección del módem

El módem debe ser para comunicaciones por satélite, y sirve de enlace entre el equipo de banda base y el equipo de RF, convertidores ascendente y descendente. Las especificaciones de velocidad variable del módem así como las pruebas y la flexibilidad real deben ser reconfigurables en la misma unidad. Los módem deben utilizar un *switth* de protección para la confiabilidad del circuito, está protección cambia automáticamente el módem primario al módem de espera en caso de falla.

Para nuestro caso proponemos el uso del módem COMSTREAM 701, cuyas especificaciones cubren las necesidades de nuestra red, éstas se resumen en la tabla 6.2.

|                           |                         |   |
|---------------------------|-------------------------|---|
| <b>Módem COMSTREAM701</b> |                         |   |
| Velocidad de datos        |                         | 4.8 kbps a 2185 Mbps                            |
| Tipos de modulación       |                         | BPSK y QPSK                                     |
| Interfaz de datos         |                         | RS-449, V.35, G703, RS-232, DS-1                |
| Frecuencia intermedia     |                         | 52 a 88 MHz                                     |
| <b>Modulador:</b>         | Potencia de transmisión | -5 dBm a -25 dBm                                |
|                           | Resolución              | pasos de 0.1 dB                                 |
|                           | Reloj del modulador     | Interno o externo                               |
| <b>Demodulador:</b>       | Nivel de recepción      | -10 a -55 dBm                                   |
|                           | Eb/No                   | FEC ½ 128 kbps 4.6 dB para BER 10 <sup>-7</sup> |
|                           |                         | FEC ½ 2.0 Mbps 5.0 dB para BER 10 <sup>-7</sup> |
|                           |                         | FEC ¼ 128 kbps 5.0 dB para BER 10 <sup>-7</sup> |
|                           |                         | FEC ¼ 2.0 Mbps 4.6 dB para BER 10 <sup>-7</sup> |
| Rango de adquisición      |                         | Programable                                     |
| Temperatura de operación  |                         | 0 a 50 °C                                       |
| Energía : Voltaje         |                         | 90 a 264 VAC (autoajustable)                    |
|                           | Frecuencia              | 47 a 63 Hz                                      |
|                           | Consumo de potencia     | 40 Watts  |

Tabla 6.2. Especificaciones del módem CM 701.

## 6.4 CONVERTIDORES DE FRECUENCIA (SUBIDA Y BAJADA)

El parámetro indispensable que deben de cumplir ambos convertidores es el de asegurar una alta estabilidad en la conversión de frecuencia.

Una de las características que se pueden considerar para estos convertidores es la de poseer un oscilador controlado por cristal, así como la de ofrecer la ventaja de contribuir con los módems digitales para proporcionar una menor relación de errores de bits.

Para esta sección se ha considerado el uso de convertidores ascendente y descendente de la marca LNR cuyas especificaciones cumplen con nuestras necesidades, a continuación se mencionan sus características generales.

### - Convertidores de subida (Up converter)

El Convertidor de subida de modelo UC14L-D4 está completamente diseñado en una sola unidad, incluye fuentes de voltaje, osciladores locales altamente estables, componentes de conversión de RF, monitoreo de operación de todos los subsistemas importantes. Las capacidades de monitoreo se presentan en los indicadores luminosos del panel frontal y en los puntos de prueba. La unidad de triple conversión de frecuencia es un sintetizador de doble frecuencia de una o más portadoras de 70 MHz de FI a banda C, seguido de un trasladador integral de banda C a banda Ku. El convertidor de subida es alimentado con 115 VAC ó 230 VAC, seleccionando con puentes internos se elige la opción deseada, con voltaje de 115 VAC se tiene un consumo de aproximadamente 100 Watts.

### - Convertidor descendente (Down converter)

El convertidor de bajada, modelo DC12L-D4, al igual que el convertidor de subida está diseñada para ser autosuficiente, por lo que tiene incluida fuente de poder, oscilador local altamente estable, componentes de conversión de frecuencia y circuitos de monitoreo y operación. La unidad de conversión de doble frecuencia tiene un bloque de traslación de la banda Ku a la banda C, seguido por un sintetizador dual de conversión de frecuencia de la banda C a una FI de 70 MHz. El convertidor de bajada es alimentado con 115 VAC ó 230 VAC, seleccionando con puentes internos

se elige la opción deseada, con voltaje de 115 VAC se tiene un consumo de aproximadamente 100 Watts.

En la tabla 6.3 se muestran las características generales del convertidor de subida como del convertidor de bajada.

| Parámetro                 | Convertidor de subida         | Convertidor de bajada         |
|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Frecuencia de salida      | 14.0 - 14.5 GHz $\pm$ 27 MHz  | 70 MHz $\pm$ 27 MHz           |
| Frecuencia de entrada     | 70 MHz $\pm$ 27 MHz           | 11.7 - 12.2 GHz $\pm$ 27 MHz  |
| Tipo de conversión        | Triple                        | Triple                        |
| Nivel de salida           | -8 dBm nominal                | 15 dBm mínimo                 |
| Impedancia de entrada     | 75 $\Omega$ , en conector BNC | 50 $\Omega$ , en conector SMA |
| Impedancia de salida      | 50 $\Omega$ , en conector SMA | 75 $\Omega$ , en conector BNC |
| Estabilidad de frecuencia | $\pm$ 500 Hz/mes              | $\pm$ 500 Hz/mes              |
| Estabilidad de ganancia   | $\pm$ 0.25 dB/día             | $\pm$ 0.25 dB/día             |
| Alimentación:             |                               |                               |
| Voltaje                   | 115 $\delta$ 230 VAC          | 115 $\delta$ 230 VAC          |
| Frecuencia                | 47 a 63 Hz                    | 47 a 63 Hz                    |
| Potencia                  | 100 Watts                     | 100 Watts                     |

Tabla 6.3. Especificaciones de operación de los convertidores de subida y bajada marca LNR.

## 6.5 AMPLIFICADOR DE ALTA POTENCIA (HPA)

Para la utilización de los HPA's en las E/T móviles transportables se tiene la opción de utilizar *Klystron* refrigerados por aire, amplificadores de tubo de ondas progresiva (TWT) ó los amplificadores de estado sólido GaAsFET. Estos últimos son muy estables pero de baja potencia hasta el momento, desde el punto de vista de rendimiento y de la facilidad de mantenimiento, resulta preferible el amplificador conocido como *TWT*, en la actualidad se usan para la amplificación en las bandas superiores a los 12 GHz.

Es importante mencionar que los equipos amplificadores que se fabrican con la tecnología *TWT* se diseñan para que internamente posean un sistema de enfriamiento de aire forzado reduciendo la



temperatura de operación del equipo, ganando con esto mayor estabilidad durante la operación del mismo. Para esta sección se propone un sistema de amplificación con las siguientes características:

Amplificador *TWT* de marca MCL, Inc. modelo 10976-50 de 50 Watts de salida, esta elección se basó en la potencia necesaria para la transmisión de las portadoras de datos y considerando la máxima atenuación por lluvia. Estos amplificadores tienen las siguientes características:

Los amplificadores tienen una salida de 50 Watts en el rango de frecuencia de 14.0 a 14.5 GHz, sus características eléctricas se muestran en la tabla 6.4. Este amplificador se podría utilizar para las necesidades de potencia en cualquier parte de la República Mexicana.

| Parámetro  | Mínimo       | Típico | Máximo         | Unidades |
|--|--------------|--------|----------------|----------|
| Rango de frecuencia  | 14           |        |                | GHz      |
| Ganancia   | 66           | 69     |                | dB       |
| Rango de ajuste de ganancia                                  | 20           |        |                | dB       |
| Linealidad de ganancia:<br>en toda la banda<br>para 40 MHz   |              |        | ± 1.0<br>± 0.3 | dB<br>dB |
| Intermodulación con dos portadoras<br>(con 4 dB de back-off) |              | -30    | -25            | dB       |
| Figura de ruido(a máxima ganancia)                           |              | 8      |                | dB       |
| VSWR<br>entrada  |              | 1.2    | 1.25           | dB       |
| salida   |              | 1.2    | 1.30           | dB       |
| Alimentación:<br>Voltaje                                     | 90           | 115    | 135            | VAC      |
| Frecuencia   | 47           |        | 63             | Hz       |
| Consumo de potencia  |              | 800    |                | Watts    |
| Sistema de enfriamiento                                      | Aire forzado |        |                |          |
| Temperatura de trabajo                                       | -40          |        | 50             | °C       |

Tabla 6.4. Características del HPA de 50 Watts.

## 6.6 AMPLIFICADORES DE BAJO NIVEL DE RUIDO LNA Y LNB

En la elección de este equipo se debe cumplir con un parámetro muy importante, que es el factor de baja temperatura de ruido.

En la banda Ku se obtienen en lo que se refiere a la temperatura de ruido de aproximadamente 50 °K y se espera que en un futuro se obtengan temperaturas aún más bajas. Desde el punto de vista de tamaño, peso y consumo de energía, se propone el uso de amplificadores de bajo ruido del tipo GaAsFET, aunque se consiguen temperaturas más bajas para estos últimos.

En la recepción de las señales se tiene la necesidad de trasladar a dos rangos de frecuencia diferentes, pues mientras que los equipos para las portadoras de voz y datos operan en una frecuencia intermedia de 70 MHz, los receptores de televisión se manejan en banda L, es por esto que se propone un sistema LNA/LNB, ya que es un sistema que internamente realiza las dos funciones. En la tabla 6.5 se muestran las características de este equipo.

| LNA/LNB Modelo CF12-75 Especificaciones generales |  |
|---|--|
| Rango de frecuencia                               | 11.7 a 12.2 GHz  |
| temperatura de ruido: a 23 °C<br>a 50 °C          | 75 °K<br>80 °K   |
| Ganancia: En banda Ku<br>En banda L               | 50 dBm<br>45 dBm   |
| VSWR: Entrada<br>Salida                           | 1.3 máximo<br>1.25 máximo                                      |
| Rango de temperatura de operación                 | -30 a 50 °C  |
| RF: Entrada<br>Salida: Banda Ku<br>Banda L        | WR-75 guía de onda<br>Conector SMA hembra<br>Conector F hembra |
| Consumo de potencia                               | 200 Watts  |
| Alimentación                                      | 115 VAC  |

*Tabla 6.5. Especificaciones del LNA/LNB modelo CF12-75.*

El sistema estará dispuesto en una configuración 1+1 con un control de conmutación manual/automático que se encontrará en el contenedor del equipo de comunicaciones.

## 6.7 SUBSISTEMA DECODIFICADOR DE VIDEO Y AUDIO

Para realizar el enlace de bajada se usará la antena de satélite convencional y un LNB, que convierte la señal que adquiere del satélite, la amplifica y convierte de banda Ku a una señal de banda L (950 a 1450 MHz), que es la banda sobre la que trabaja el equipo receptor de televisión.

Para este caso la compañía CLI Corp. involucra su propio sistema de receptores *IRD* (Integrated receiver/decoder, Receptor decodificador integrado), el decodificador realizara la función inversa del codificador, descomprime la señal, decodifica y separa el video y audio original en banda base.

Cada *IRD* contiene tanto demodulador QPSK como decodificador de video/audio a diferentes velocidades de información. El demodulador es entonado en un canal específico dentro del ancho de banda de la banda L (500 MHz). El sintetizador del demodulador funciona en pasos de 125 kHz en función de 4000 canales (ver apéndice C), la salida del demodulador QPSK es una corriente de datos comprimidos de video/audio y bits de control, éstos se ponen a la entrada del decodificador de datos en el *IRD*.

El decodificador de video/audio corrige los errores de la corriente de datos provenientes del demodulador y los demultiplexa en comando video/audio. El video es descomprimido y convertido a una señal de banda base de video compuesto. La señal comprimida de audio es primero decodificada y convertida después en dos señales de audio analógico. Las especificaciones técnicas de este receptor se muestran en la tabla 6.6.

### **6.8 SUBSISTEMA DE MEDICION Y MONITOREO**

Este subsistema es necesario para comprobar el funcionamiento correcto del enlace ascendente y descendente del satélite. En este apartado se analizan las características que deben llevar los instrumentos de medición para lograr un enlace de calidad.

#### **- Generador de patrones de video y audio**

Se utilizan para ajustes o puestas previas de transmisión de la señal del usuario. Esto con la finalidad de que la E/T móvil transportable se ajuste en niveles de video con la estación terrena maestra, para este caso se propone un generador de video modelo TSG-170 de la marca TEKTRONIX.

El generador tiene la capacidad de proporcionar una señal de video nominal según la norma *NTSC* y como lo establece la norma 567-2 del CCIR en su apartado C y generar señales de prueba como barras de color, formato de punto, señales de ventana multiburst, etc.

En lo que concierne al audio éste será necesario que proporcione un tono de 1 kHz a 0 dBm, que es un tono de prueba con el que se ajusta el nivel de recepción. En la actualidad la mayoría de los generadores de video proporcionan adicionalmente un tono de prueba con las características antes mencionadas.

|   |   |
|---|---|
| <b>Video</b>                            |   |
| Salida                                  | Video NTSC banda base de video compuesto o RF en canal 3 o 4                                |
| Resolución vertical                     | 480 líneas  |
| Resolución horizontal                   | 368 pixeles   |
| Tipo de compresión                      | Transformada Discreta del Coseno (DCT) con compensación de movimiento usando tecnología CLI |
| Velocidad de información                | 2.9, 3.3 o 6.6 Mbps   |
| <b>Audio</b>                            |   |
| Salida                                  | Estéreo (canal izq. y der.)<br>Monoaural en RF en canal 3 ó 4                               |
| Velocidad de información                | Audio digital Dolby a 200 kbps por canal  |
| distorsión                              | < 0.3 % a 1 kHz   |
| Respuesta en frecuencia                 | ± 3 dB, de 20 a 15 kHz  |
| <b>RF QPSK demodulador</b>              |   |
| Rango de frecuencia de entrada          | 959 a 1450 MHz  |
| Rango dinámico para la señal de entrada | -75 a -30 dBm   |
| Impedancia de entrada                   | > 8 dB  |
| Eb/No requerida                         | 5.5 dB a 3.3/6.6 Mbps<br>6.0 dB a 2.9 Mbps  |
| LNB power output                        | 22 VCD a 230 mA max.  |
| Temperatura de operación                | 10° a 40° C   |
| Alimentación: Voltaje                   | 90 a 132 VAC o 90- 260 VAC  |
| Frecuencia                              | 47 a 63 Hz  |
| Consumo de potencia                     | 35 Watts  |

Tabla 6.6. Especificaciones del receptor IRD.

### - Analizador de espectros

Este es un instrumento de vital importancia para la E/T ya que con él se realizan las siguientes actividades:

- Orientación al satélite deseado.
- Ajuste de polarización.
- Ajuste de potencia de salida.
- Medición de nivel de recepción.

Es importante contar con este equipo ya que sin él no se podría estar seguro de estar orientado al satélite en cuestión, esto se logra conociendo el espectro del satélite (ver apéndice B) ó bien conociendo la frecuencia y el nivel de recepción de los *beacons* o radiofaros que son característicos de cada satélite o familia de satélites. Cuando se accesa a un satélite, cualquiera que éste sea, una de las condiciones que se deben de cumplir es la de no interferir en la polarización contraria u ortogonal a la transmisión, esto lo podemos lograr si podemos observar el espectro de satélite a la recepción del satélite.

Otra característica importante del analizador de espectros es que gracias a él podemos observar el nivel de potencia que estamos entregando al satélite y así no saturar los transpondedores del mismo, así mismo podemos monitorear el nivel de recepción de las portadoras que accesan al satélite.

En este caso se propone un analizador de espectros modelo 1705A de la marca TEKTRONIX, en la tabla 6.7 se muestran algunas especificaciones de este equipo.

|                           |  |
|---------------------------|--|
| Rango de frecuencia       | 900 a 2000 MHz , cubre la banda L<br>70 MHz para frecuencia intermedia     |
| SPAN de frecuencia        | Completo, 10, 1 o .1 MHz   |
| Máximo nivel de operación | -30 dBm, 75 $\Omega$ banda L<br>-20 dBm, 75 $\Omega$ Frecuencia intermedia |
| Alimentación para LNB     | $\pm$ 18 VDC, 50 mA  |
| Alimentación: Voltaje     | 90 a 132 VAC   |
| Frecuencia                | 48 a 66 Hz   |
| Consumo de potencia       | 25 Watts   |

Tabla 6.7. Especificaciones generales del analizador de espectros TEKTRONIX modelo 1705A.

**- Monitores de video, audio y forma de onda**

Estos son los instrumentos de los que se vale el operador para verificar la calidad de la señal de video/audio.

El monitor de video se utiliza para poder observar la calidad de la señal a la vista del usuario y que no presenten desgarres, clichés o saturación de color. El monitor de audio se utiliza para medir los niveles de audio a la entrada de los codificadores y a la salida del receptor del satélite. El instrumento más importante de esta sección es el monitor forma de onda, ya que gracias a él podemos observar las características generales de la señal *NTSC* de color, entre las características más importantes están: niveles de voltaje de señal, niveles de sincronía (vertical y horizontal), línea de borrado y demás, esto es valido tanto para la transmisión como para la recepción.

Para este caso se proponen:

- Monitor a color de video TRINITRON modelo PVM-1342Q.
- Amplificador de audio VIDEOTEK APM-800.
- Monitor forma de onda TEKTRONIX modelo 1700F06.

**Configuración en redundancia 1+1**

La fiabilidad es un parámetro muy importante al establecer un enlace de comunicaciones vía satélite, es por eso que se considera necesario el estar preparados ante algún imponderable, en el cual alguno de nuestros equipos de la cadena de transmisión o recepción fallara. La solución a este riesgo que se corre es la de contar con equipos de soporte en los subsistemas de RF y de banda base para que entren en operación en cuanto se presente alguna falla en el equipo que esté operando.

Ambas cadenas se deben configurar en redundancia 1+1, esto es todos los equipos que componen los subsistemas de RF y banda base deben de contar con una pareja conectada en paralelo por medio de un conmutador automático, el cual estará monitoreando la operación del elemento que esté en línea, para que en el momento en que detecte alguna falla conmute al equipo que estará en espera. Existen otro tipo de configuraciones para el caso en que falte algún equipo, pero considerando que el empleo de aquellos aumenta los costos para el equipamiento de las unidades, consideramos que con la configuración propuesta es suficiente.

## 6.9 SUBSISTEMA DE ENERGIA

Cada E/T móvil transportable debe contar con su sistema de conexión a la línea comercial vía un centro de carga/distribución posiblemente localizado en la parte trasera de la cabina, este centro de carga debe tener además la posibilidad de ser conectado a un generador que funcione como planta de emergencia o para los lugares en los cuales se carezca de energía comercial. El motor puede ser de gasolina o diesel, esto para el soporte de las cargas técnicas y de servicio de la unidad.

## 6.10 SISTEMAS COMPLEMENTARIOS DE LA RED

En este apartado se describirán dos subsistemas que son importantes para el buen funcionamiento de la red, estos son los subsistemas de aire acondicionado y presurización de aire en guías de onda.

### - Sistema de aire acondicionado

Es importante contar con un sistema de aire acondicionado que sea capaz de mantener temperaturas adecuadas para el buen funcionamiento del equipo, principalmente la cadena de transmisión ya que es la que genera más calor.

Los sistemas de aire acondicionado son muy variados, siendo los más utilizados los que trabajan por compresor de gas refrigerante, es importante hacer un cálculo adecuado de la capacidad de éstos, ya que si se elige mal pudiera no proveer una temperatura adecuada o representar una carga excesiva de energía al sistema, del mismo modo, lo más conveniente será poder separar su alimentación de la que se tiene para los equipos de comunicación, para evitar la presencia de ruido ya que estos equipos lo generan en exceso. En el caso de las E/T's transportables, existen plantas de energía que proporcionan dos acometidas y así poder destinar una para los aires acondicionados y el alumbrado y otra exclusiva para los sistemas de comunicaciones. Por último es importante mencionar que del buen funcionamiento de los aires acondicionados dependerá en mucho la vida útil de los equipos de comunicación, principalmente de los HPA's , que son los que generan el 50 % del calor que hay en una estación terrena.

- Sistema de presurización de guías de onda

Su función básica es la de extraer el aire que existe en el sistema de guías de onda y con esto tener menos atenuación en las mismas, su uso es recomendado por el fabricante de guías de onda el cual generalmente los provee.

6.11 CONFIGURACION DE LA E/T MOVIL TRANSPORTABLE

En este diseño de la red se están proponiendo cuatro estaciones terrenas móviles transportables con la misma configuración, la figura 6.1 muestra un diagrama general de una de ellas, con la opción de video comprimido voz y datos.

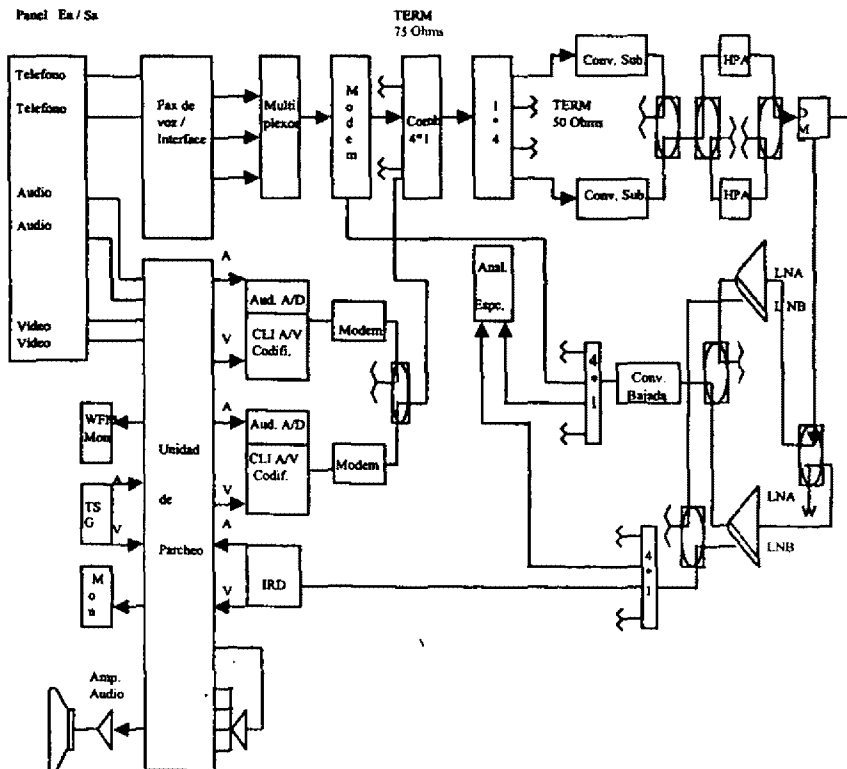


Figura 6.1. Diagrama general de la estación terrena móvil transportable.



En la tabla 6.8 se detalla en un cuadro las características finales de los equipos seleccionados, mismas que nos ayudará a calcular la capacidad de la planta de emergencia a utilizar.

| EQUIPO                                | DIMENSIONES (cm) |       |       | PESO (kg.) | ENERGIA               | POTENCIA<br>Watts |
|---------------------------------------|------------------|-------|-------|------------|-----------------------|-------------------|
|                                       | Altura           | Fondo | Ancho |            |                       |                   |
| Compresor de video<br>SpectrumSaver * | 46.20            | 54.00 | 42.60 | 55.80      | 115-230 V<br>47-63 Hz | 525               |
| Codificador de audio DP90 *           | 4.40             | 20.00 | 48.30 | 5.00       | 100-220 V<br>48-62 Hz | 40                |
| Módem CM236 *                         | 8.89             | 43.18 | 38.10 | 15.42      | 100-264 V<br>47-63 Hz | 85                |
| Módem CM701 *                         | 8.89             | 45.72 | 48.26 | 11.50      | 90-264 V<br>47-63 Hz  | 50                |
| Multiplexor CS800 *                   | 12.60            | 37.44 | 40.20 | 10.26      | 90-126 V<br>40-63 Hz  | 200               |
| Convertidor de subida LNR *           | 4.40             | 60.90 | 48.30 | 11.16      | 100-220 V<br>48-62 Hz | 125               |
| HPA TWT MCL *                         | 21.00            | 57.84 | 45.60 | 50.00      | 108-132 V<br>60 Hz    | 800               |
| LNA/LNB LNR *                         | 5.00             | 3.80  | 16.50 | 0.54       | 108-132 V<br>60 Hz    | 100               |
| Convertidor de bajada LNR *           | 4.40             | 60.90 | 48.30 | 11.16      | 100-220 V<br>48-62 Hz | 125               |
| Receptor IRD                          | 4.65             | 16.44 | 35.90 | 2.23       | 85-264 V<br>47-63 Hz  | 35                |
| Analizador de espectros<br>TEKTRONIX  | 13.34            | 46.04 | 21.59 | 3.80       | 100-132 V<br>48-66 Hz | 35                |
| Monitor de color<br>SONY TRINITRON    | 34.00            | 41.20 | 34.60 | 16.50      | 110-130 V<br>50-60 Hz | 99                |
| Generador de video<br>TEKTRONIX       | 4.40             | 56.10 | 48.30 | 10.40      | 90-132 V<br>48-62 Hz  | 60                |
| 2 U. Aire acondicionado<br>Carrier II | 47.50            | 63.50 | 67.50 | 70.00      | 220 V<br>60 Hz        | 1620              |

\* Equipos con redundancia 1+1

Tabla 6.8. Cuadro comparativo de los equipos seleccionados.

De las especificaciones técnicas del equipo a utilizar en la E/T móvil transportable podemos obtener finalmente el peso total del equipo, así como el consumo total de potencia real de los diferentes equipos que integran dicha unidad, de lo cual obtenemos:

| Peso total de los equipos (con redundancia) | Consumo de potencia total |
|---|---------------------------|
| 503.45 kg.                                  | 7569 Watts                |

Considerando los datos anteriores y un margen de seguridad del 20 % tenemos que la potencia total estará dada por:

$$7569.00 + 0.20 (7569.00) = 9082.80 \text{ Watts}$$

Tomando en cuenta un factor de potencia (f.p.) = 0.80, valor propuesto por la Comisión Federal de Electricidad tenemos:

$$\text{Corriente Alterna (CA) 2 fases 4 hilos} = \text{kW} \times 1000 / 2 \times E \times \text{f.p.}$$

Donde:

$$E = \text{Voltaje en volts.}$$

$$CA = 9.0828 \times 1000 / 2 \times 220 \times 0.80 = 25.80 \text{ Amperes.}$$

Potencia total en kiloWatts ( kW) =  $I \times E \times 2 / 1000$

Donde:

$$I = \text{Corriente en Amperes.}$$

$$\text{kW} = 25.80 \times 220 \times 2 / 1000 = 11.35 \text{ kW.}$$

Tomando en cuenta el consumo de energía requerido, y con el fin de seleccionar nuestra planta de energía, consideramos que la planta JD-15 de la empresa IGSA satisface nuestros requerimientos.

Las características principales de esta planta se presentan en la tabla 6.9.

| EQUIPO           | MOTOR | CILINDROS | DIMENSIONES (cm) |       |       | PESO (kg) | CAPACIDAD kW |
|------------------|-------|-----------|------------------|-------|-------|-----------|--------------|
|                  |       |           | Alto             | Largo | Ancho |           |              |
| PLANTA ELECTRICA | 4019D | 3         | 100              | 125   | 42    | 750       | 15           |

Tabla 6.9. Características generales de la planta JD-10.

Una vez que hemos visto la descripción de los equipos procederemos a los resultados y conclusiones.

## **RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

El presente trabajo inicia con una reseña histórica de las comunicaciones, los satélites en México y los conceptos básicos que son necesarios para comprender un sistema de comunicaciones vía satélite.

El conocimiento y desarrollo de la electricidad, el magnetismo y la electrónica han permitido el desarrollo de sistemas de comunicaciones alámbricos e inalámbricos. Siendo estos últimos más fáciles de instalar y poner en operación, dado que no es necesario contar con un medio físico que conecte a los dos extremos que desean transmitir o recibir información, sólo se requiere tener una línea de vista.

El lanzamiento al espacio de satélites artificiales permite la comunicación entre dos puntos extremos empleando al satélite como un repetidor. Ambos extremos del enlace se encuentran a una distancia considerable y dadas las necesidades que se quieren cubrir pueden ser fijos o móviles. Los sistemas de comunicaciones móviles son ampliamente utilizados dado el gran dinamismo de las diversas actividades que a diario llevamos acabo y que contribuyen en gran medida al desarrollo de la nación, aunado a esto la facilidad de estar en comunicación con la sociedad, hasta los sitios más aislados del globo terrestre.

En la actualidad es importante contar con redes públicas de comunicaciones que interconectadas con redes privadas de instituciones agilizan el intercambio de información entre éstas.

La integración de la red de estaciones móviles que realizamos, fue hecha tomando en cuenta varios parámetros como son: costos, dimensiones, disponibilidad en el mercado, calidad de operación, prestigio de marcas, etc. Por lo cual consideramos que debe ser confiable.

El diseño de la red de estaciones móviles fue realizado en base al cálculo del enlace, donde con los resultados obtenidos, se seleccionaron los equipos, los cuales cumplen con las condiciones de operación.

El margen del enlace debe ser mayor o cuando menos igual al requerido, en nuestro cálculo el margen fue mayor, en caso de que el margen nos hubiera dado negativo, el enlace no se cumpliría, por lo cual tendríamos que incrementar la PIRE de la E/T y recalcular nuevamente, hasta lograr el margen del enlace necesario.

El cálculo de enlace fue realizado considerando condiciones críticas, algunas de las cuales son: lluvia, absorción atmosférica, pérdidas por intermodulación, pérdidas por satélites adyacentes, etc. Por lo tanto, el enlace que se calculó tiene un margen de confiabilidad muy alto. Lo que nos garantiza una comunicación bajo cualquier condición de operación. Cabe hacer mención que el cálculo se realizó tomando en cuenta una zona crítica de la huella del satélite, lo cual nos reafirma lo anterior.

La red de estaciones terrenas móviles transportables ofrece un medio eficaz para la cobertura de eventos ocasionales de televisión en vivo y en directo, así como un auxiliar excepcional para la coordinación de actividades de socorro en caso de desastres naturales, ya que permite una disponibilidad de comunicaciones seguras inmediatamente después de ocurrido el desastre y desde el lugar donde se suscite el evento.

La flexibilidad operacional de las estaciones terrenas móviles transportables se consigue equipando a estas unidades de tal forma que garanticen un acceso rápido al satélite operando en la banda Ku, favoreciendo con esto que sean compactas al poder utilizar antenas de diámetros pequeños.

Para finalizar diremos que el diseño y la integración de la red de estaciones terrenas móviles para transmisión de voz, datos y televisión digital fue realizado obteniendo resultados que consideramos confiables. De igual forma consideramos que la puesta en operación es el complemento de este trabajo y sería muy interesante que fuera continuado por otro equipo de tesis.

## BIBLIOGRAFIA

### LIBROS:

- 1.- Temes, Lloyd. *Comunicación Electrónica*.  
McGraw- Hill, México, 1990.
- 2.- Rivera, Teodoro. *Curso de Cálculo de Enlace Via Satélite*.  
Entel, México, 1996.
- 3.- López de Nava, David H. *Curso de Compresión de Video*.  
Entel, México, 1999.
- 4.- Haykin, Simon. *Digital Communications*.  
John Wiley and Sons, U.S.A., 1988.
- 5.- Ha, Tri T. *Digital Satellite Communications*.  
McGraw-Hill, U.S.A., 1990
- 6.- Freeman, Rogel L. *Ingeniería de Sistemas de Telecomunicaciones*.  
Limusa, México, 1993.
- 7.- Neri Vela, Rodolfo. *Satélites de Comunicaciones*.  
McGraw-Hill, México, 1989.
- 8.- Stremier, F.G. *Sistemas de Comunicación*.  
Alfaomega, México, 1989.

- 9.- Grob, Bernard. *Televisión Práctica y Sistemas de Video*.  
Alfaomega, España, 1992.
- 10.- TELECOMM. *Términos Utilizados en las Telecomunicaciones*.  
Entel, México, 1992.
- 11.- Schwartz, Mischa. *Transmisión de información y modulación de ruido*.  
McGraw-Hill, México, 1983.

**MANUALES:**

- 1.- CLI. *Spectrum Saver Encoder Manual*.
- 2.- NEC. *Operation and Maintenance handbook for 7.6 Meters Antenna Subsystem Manual*.
- 3.- SATMEX. *Tabla de Parámetros Satelitales del Sistema Mexicano de Satélites SOLIDARIDAD*.

**CATALOGOS:**

- 1.- COMSTREAM. *CM701 PSK Digital Satellite Modem*.
- 2.- Committee Draft of Standard ISO 1117. *Coding of Moving Pictures and Associated Audio*.
- 3.- ANDREW. *Catálogo de Especificaciones de Productos*.
- 4.- PCSI. *Voice Data Multiplexer CS8000*.

**DIRECCIONES DE INTERNET:**

- 1.- <http://www.comunnet.com.mx/Pages/Documentacion/Terminologia>
- 2.- <http://www.video.ipn.mx/tesis/cap3/cap31.html#3.2.1>
- 3.- <http://a01-unix.gsync.inf.uc3m.es/~mmorago/iro9798/nueva3.htm>
- 4.- <http://ict.pue.udlap.mx/people/raulms/compresion.html>
- 5.- [http://helios.etsit.upv.es/asig/5%BA/tel\\_espa/pracGrupo21/mpeg.htm](http://helios.etsit.upv.es/asig/5%BA/tel_espa/pracGrupo21/mpeg.htm)
- 6.- <http://ict.pue.udlap.mx/people/raulms/avances/>

**APENDICE A**

**PROTOCOLO DE ACCESO A  
LOS SATELITES MEXICANOS**



En este apéndice se describe el procedimiento de acceso, así como el manejo de interferencias para el sistema mexicano de satélites SOLIDARIDAD y SATMEX.

Con el propósito de minimizar interferencias perjudiciales y asegurar la calidad de las transmisiones en los satélites de SATMEX, el Centro de Control de Comunicaciones (CCC) en Iztapalapa y el de Hermosillo Son., actúan como estaciones de control para verificar la operación de redes de los usuarios de SATMEX.

El CCC monitorea el estado operativo de los transpondedores de SATMEX para determinar su desempeño y posibles desviaciones respecto a los parámetros técnicos asignados por el Departamento de Ingeniería de SATMEX.

Se requiere que los usuarios y operadores de Estaciones Terrenas (E/T) contacten con el CCC antes de iniciar transmisión alguna hacia los satélites de SATMEX.

El CCC tiene la facultad para solicitar al usuario u operador de la E/T el desactivar su portadora(s) si se presenta la situación de que esté generando interferencia tanto a redes adyacentes como a satélites adyacentes.

Este documento tiene como propósito el definir los procedimientos para la activación de portadoras a través de los satélites SATMEX, así como el manejo de interferencias en el sistema satelital y establecer los criterios de operación.

Asimismo se proporciona al usuario una lista de escalamiento con nombres y teléfonos del personal de CCC.

#### **ESTABLECIMIENTO DE UNA NUEVA PORTADORA**

Todos los usuarios que necesiten establecer la activación de portadoras a través de los satélites SATMEX ya sea de carácter permanente o temporal, deberán llevar a cabo el siguiente procedimiento:

El usuario deberá de suministrar al Departamento de Ingeniería de SATMEX la información técnica necesaria quien definirá los parámetros de transmisión a utilizar por la red. SATMEX entregará esta información al usuario por escrito antes de que las estaciones terrenas inicien operaciones. Las portadoras que se transmitan, deberán corresponder con los parámetros asignados, de lo contrario no se aceptará la transmisión por parte de CCC.

Cabe aclarar que para establecer cualquier transmisión, ésta deberá contar con las siguientes autorizaciones: Normalización que rija en ese momento, la de autoridades gubernamentales locales, así como la de SATMEX.

SATMEX cuenta con un *Call Center*, cuyos teléfonos son (52) 5201 08 98 o el 1 800 80 SATM (en México), donde los usuarios pueden llamar para programar pruebas técnicas de aceptación, patrones de radiación, situaciones operativas, etc.

Una vez que el usuario contacte con el *Call Center*, éste lo canalizará al CCC, en donde se explicará el tipo de portadora a ser establecida y basada en los parámetros técnicos(anexo técnico) asignados por SATMEX.

- Frecuencia de Transmisión y Recepción.
- Satélite a acceder.
- Transpondedor y polarización PIRE de satélite.
- Modulación.
- Velocidad de transmisión y velocidad de información.
- Características técnicas de la antena (patrones de radiación).
- Técnica de acceso.
- Nombre de las localidades a enlazar a la transmisión y recepción.
- Nombre y número telefónico del responsable técnico de la E/T.

SATMEX proporcionará un número de control para confirmar la transmisión.

- Antes de contactar al CCC de SATMEX y considerando que la prueba ha quedado agendada, el operador de la E/T deberá llevar a cabo las siguientes acciones sin transmitir portadora al satélite.
- Orientar la antena al satélite en cuestión.  
Nota: El correcto apuntamiento de la antena es responsabilidad del operador de la E/T, por lo que debe llevar a cabo esta operación antes de llamar al CCC. Un inadecuado apuntamiento implicará operar en lóbulos laterales no permitiendo el correcto alineamiento de aislamiento y por lo tanto una mala calidad en las comunicaciones.
- Ajustar el ángulo del alimentador de la antena mediante la observación de señales provenientes de satélite o por los radiofaros (*beacon*) del satélite, como lo muestra la tabla No.1.
- Estimar la potencia de transmisión, de tal forma que en el momento de transmitir, ésta no exceda tanto la potencia asignada así como la densidad de potencia.
- Verificar la configuración (estado operativo de los HPA'S, radios, módems, switches, etc.) de la E/T, de tal forma que todo este preparado para la activación de la portadora.

Realizando el punto anterior, el usuario deberá proporcionar la siguiente información al CCC de SATMEX.

- Nombre de la compañía.
- Nombre del operador de la E/T.
- Nombre de la localidad de transmisión.
- Satélite, transpondedor, frecuencia, polarización de transmisión, diámetro de la antena.
- Número de referencia.

| SATELITE                       | Banda "Ku"  | Polarización | Modulación | Banda "C"                                | Polarización | Modulación |
|--------------------------------|-------------|--------------|------------|--|--------------|------------|
| SOLIDARI<br>DAD 1<br>(109.2°W) | 11701.0 MHz | Horizontal   | CW         | 37001.1 MHz                              | Horizontal   | PCM        |
|                                | 11701.0 MHz | Vertical     | CW         | CCC indicará<br>señales de<br>referencia | Vertical     |            |
| SOLIDARI<br>DAD 2<br>(113.0°W) | 11701.0 MHz | Horizontal   | CW         | 3701.1 MHz                               | Horizontal   | PCM        |
|                                |             |              |            | CCC indicará<br>señales de<br>referencia | Vertical     |            |
| Satmex 5<br>(116.8°W)          | 11701.0 MHz | Vertical     | CW         | 4199.125<br>MHz                          | Vertical     | PCM        |
|                                | 12198.5 MHz | Horizontal   | CW         | CCC indicará<br>señales de<br>referencia | Horizontal   |            |

*Tabla No. 1. Beacon de los satélites Mexicanos.*

Bajo la dirección del CCC se establecerá la frecuencia de la portadora, la potencia y se llevarán a cabo las siguientes mediciones:

- PIRE de satélite.
- Aislamiento de polarización ortogonal.
- Frecuencia.
- Ancho de banda.
- Emisiones espurias.
- Modulación.
- Velocidad de transmisión y FEC (en caso de portadoras digitales).
- Frecuencia de la portadora fundamental, energía dispersa, subportadoras de audio (para portadoras TV/FM/FDMA).

Nota: Si el CCC no detecta portadora del usuario a través del satélite, se le indicará al usuario que debe desactivar la portadora, ya que esto podría indicar una anomalía en la operación y la posibilidad de acceder a un satélite equivocado. El operador deberá revisar nuevamente su E/T.

**CRITERIOS DE OPERACION DEL SISTEMA****Aislamiento de polarización ortogonal**

El aislamiento de polarización ortogonal de la antena de la E/T deberá ser 30 dB y sin inducción sobre el canal opuesto. Si esta condición no es reunida, será necesario terminar la transmisión.

**Patrón de radiación de la antena**

Todas las antenas que transmitan a los satélites de SATMEX deberán cumplir con recomendaciones CCIR-580 y la envolvente  $29-25\log(\theta)$ .

**Servicios ocasionales**

El CCC de SATMEX deberá ser contactado por parte del operador de la E/T antes y después de cada servicio ocasional.

**REPORTE DE INTERFERENCIA**

Todos los incidentes sobre interferencias de radiofrecuencia (IRF's) deberán ser reportadas al CCC a través del Call Center de SATMEX. El siguiente procedimiento deberá ser seguido por el usuario:

- Conocer los parámetros de transmisión correspondiente a la portadora o del enlace que esté experimentando interferencia y estimular el desempeño del sistema en términos de C/N, Eb/No, Bit Error Rate o algún otro indicativo de referencia. Esta información será solicitada por el CCC para analizar y atender los problemas de IRF.
- Antes de iniciar un reporte de IRF, el operador de la E/T deberá verificar su equipo transmisor (Maestra y VSAT) para asegurarse que ellos mismos no estén causando el problema.
- Si es posible verificar con una segunda E/T para confirmar la IRF, en caso de que no cuente con esta segunda estación, el CCC lo confirmará una estación alterna.

- Contar con la siguiente información:
  - Satélite, transpondedor, polarización.
  - Fecha y hora en que se inició la IRF.
  - Frecuencia(s).
  - Red y tráfico afectado.
  - Ancho de banda.
  - Desviación de frecuencias.
  - Modulación.
  - Gráficas espectrales.

Es importante proporcionar la mayor información posible ya que el personal del CCC registrará el incidente e iniciará los procedimientos de reducción de IRF.

- Bajo la dirección del CCC, se tendrán que llevar a cabo las siguientes pruebas con los operadores de las E/T que pudieran estar causando el problema de IRF. Estas pruebas ayudarán en la determinación de fuentes de interferencia.

- Desenergizar los equipos: HPA (SSPA, TWTA, Klystron) Módem, Up converter, ODU, etc.
- Despolarización del alimentador de la antena.
- Desapuntamiento de la antena.

#### **Restauración de servicios**

El CCC tratará dentro de lo posible la restauración del tráfico con las acciones que se mencionan a continuación y siempre tomando en cuenta el tipo y gravedad del problema:

- Incremento de potencia de la portadora.
- Reubicación en frecuencia de la portadora.

#### **Servicio del TLS**

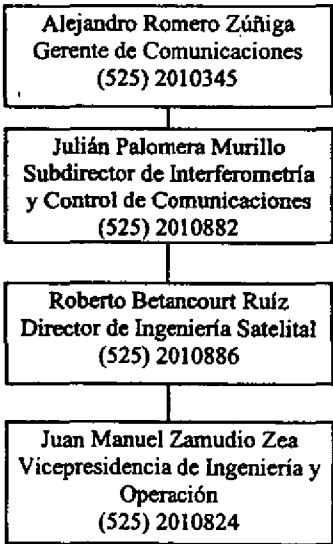
El proceso de localización de interferencias usualmente inicia mediante la llamada del usuario al CCC informando anomalías en sus comunicaciones. En este momento el CCC lleva a cabo una

---

revisión rápida para ver si existe alguna irregularidad en el transpondedor para atenderla. En el caso de que no se pueda resolver, será necesario aplicar procesos de Interferometría y llevar a cabo geolocalizaciones a través del Sistema de Localización de transmisiones (TLS). La técnica del TLS emplea señales propagándose a través del satélite interferido y de un satélite adyacente para obtener el cruce de líneas de tiempo y frecuencias sobre un mapa, lo cual dará la posición geográfica de la E/T generadora de la IRF.

El CCC llevará a cabo investigaciones sobre la IRF y mantendrá informado al operador de la E/T sobre el desarrollo y avances de este asunto.

**LISTA DE ESCALAMIENTO**



**SATELITES MEXICANOS**

**Dirección de Ingeniería Satelital**

**Subdirección de Interferometría y Control de Comunicaciones**

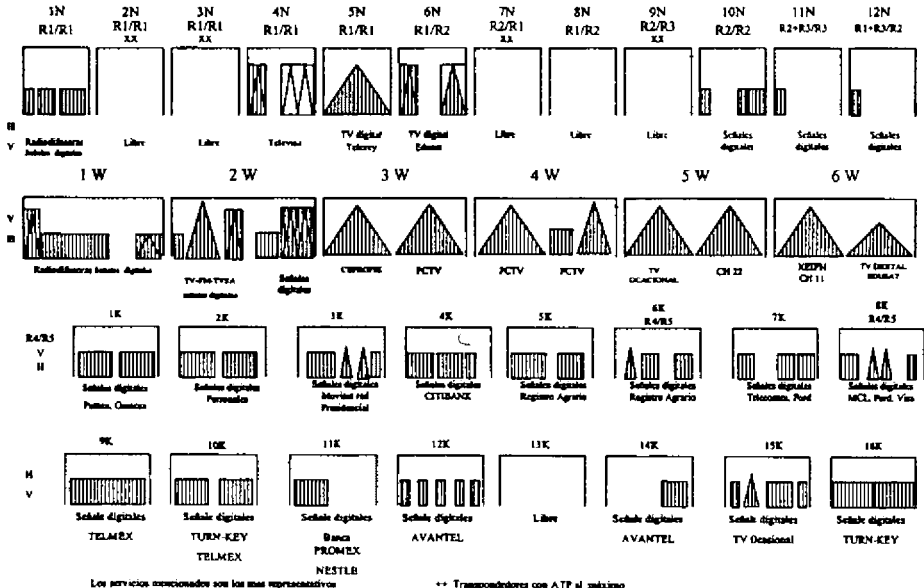
Octubre 1999

**APENDICE B**  
**SERVICIOS ACTUALES**  
**DE LOS SATELITES MEXICANOS**

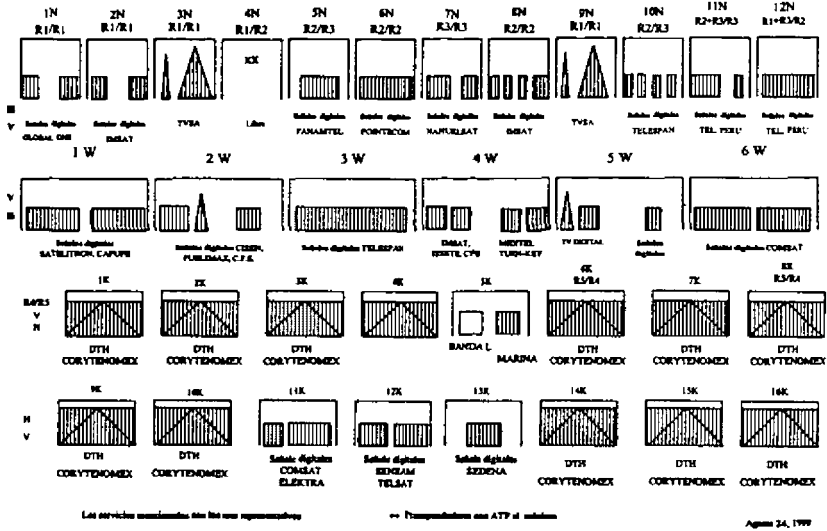


En este apéndice se proporcionan los planes de tráfico actual del sistema de satélites mexicanos, los satélites SOLIDARIDAD I, SOLIDARIDAD 2 y SATMEX 5, en ellos se proporcionan los usuarios más representativos de cada transpondedor.

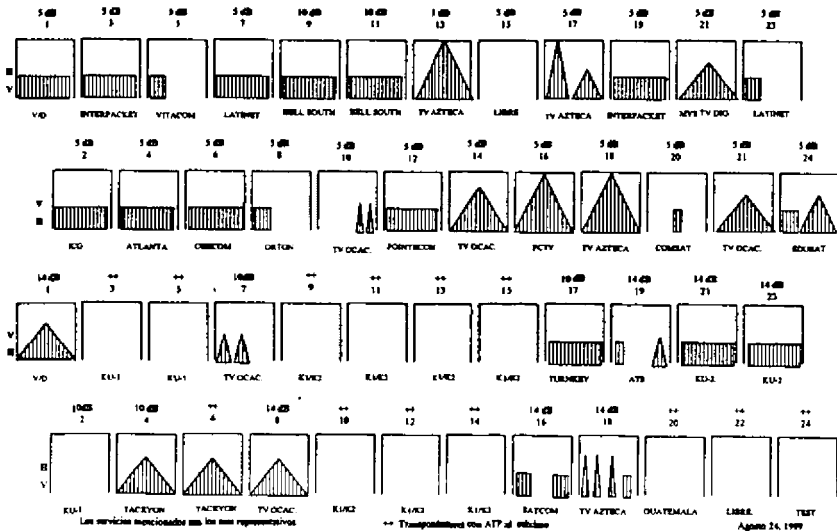
### SOLIDARIDAD I TRAFICO ACTUAL



SOLIDARIDAD 2  
TRAFICO ACTUAL



SATMEX 5  
TRAFICO ACTUAL



## **APENDICE C**

### **TABLA DE CANALES DEL RECEPTOR IRD**

En este apéndice se dan las tablas de los canales del receptor IRD, así como su correspondencia con las bandas de frecuencias L, C, y Ku. Actualmente utilizados en las estaciones terrenas tanto fijas como móviles.

| Canal IRD | Banda L MHz | Banda C MHz | Banda Ku MHz | Canal IRD | Banda L MHz | Banda C MHz | Banda Ku MHz |
|-----------|-------------|-------------|--------------|-----------|-------------|-------------|--------------|
| 16        | 950         | 4200        | 11700        | 304       | 986         | 4164        | 11736        |
| 24        | 951         | 4199        | 11701        | 312       | 987         | 4163        | 11737        |
| 32        | 952         | 4198        | 11702        | 320       | 988         | 4162        | 11738        |
| 40        | 953         | 4197        | 11703        | 328       | 989         | 4161        | 11739        |
| 48        | 954         | 4196        | 11704        | 336       | 990         | 4160        | 11740        |
| 56        | 955         | 4195        | 11705        | 344       | 991         | 4159        | 11741        |
| 64        | 956         | 4194        | 11706        | 352       | 992         | 4158        | 11742        |
| 72        | 957         | 4193        | 11707        | 360       | 993         | 4157        | 11743        |
| 80        | 958         | 4192        | 11708        | 368       | 994         | 4156        | 11744        |
| 88        | 959         | 4191        | 11709        | 376       | 995         | 4155        | 11745        |
| 96        | 960         | 4190        | 11710        | 384       | 996         | 4154        | 11746        |
| 104       | 961         | 4189        | 11711        | 392       | 997         | 4153        | 11747        |
| 112       | 962         | 4188        | 11712        | 400       | 998         | 4152        | 11748        |
| 120       | 963         | 4187        | 11713        | 408       | 999         | 4151        | 11749        |
| 128       | 964         | 4186        | 11714        | 416       | 1000        | 4150        | 11750        |
| 136       | 965         | 4185        | 11715        | 424       | 1001        | 4149        | 11751        |
| 144       | 966         | 4184        | 11716        | 432       | 1002        | 4148        | 11752        |
| 152       | 967         | 4183        | 11717        | 440       | 1003        | 4147        | 11753        |
| 160       | 968         | 4182        | 11718        | 448       | 1004        | 4146        | 11754        |
| 168       | 969         | 4181        | 11719        | 456       | 1005        | 4145        | 11755        |
| 176       | 970         | 4180        | 11720        | 464       | 1006        | 4144        | 11756        |
| 184       | 971         | 4179        | 11721        | 472       | 1007        | 4143        | 11757        |
| 192       | 972         | 4178        | 11722        | 480       | 1008        | 4142        | 11758        |
| 200       | 973         | 4177        | 11723        | 488       | 1009        | 4141        | 11759        |
| 208       | 974         | 4176        | 11724        | 496       | 1010        | 4140        | 11760        |
| 216       | 975         | 4175        | 11725        | 504       | 1011        | 4139        | 11761        |
| 224       | 976         | 4174        | 11726        | 512       | 1012        | 4138        | 11762        |
| 232       | 977         | 4173        | 11727        | 520       | 1013        | 4137        | 11763        |
| 240       | 978         | 4172        | 11728        | 528       | 1014        | 4136        | 11764        |
| 248       | 979         | 4171        | 11729        | 536       | 1015        | 4135        | 11765        |
| 256       | 980         | 4170        | 11730        | 544       | 1016        | 4134        | 11766        |
| 264       | 981         | 4169        | 11731        | 552       | 1017        | 4133        | 11767        |
| 272       | 982         | 4168        | 11732        | 560       | 1018        | 4132        | 11768        |
| 280       | 983         | 4167        | 11733        | 568       | 1019        | 4131        | 11769        |
| 288       | 984         | 4166        | 11734        | 576       | 1020        | 4130        | 11770        |
| 296       | 985         | 4165        | 11735        | 584       | 1021        | 4129        | 11771        |

| Canal | Banda L | Banda C | Banda Ku | Canal | Banda L | Banda C | Banda Ku |
|-------|---------|---------|----------|-------|---------|---------|----------|
| IRD   | MHz     | MHz     | MHz      | IRD   | MHz     | MHz     | MHz      |
| 592   | 1022    | 4128    | 11772    | 936   | 1065    | 4085    | 11815    |
| 600   | 1023    | 4127    | 11773    | 944   | 1066    | 4084    | 11816    |
| 608   | 1024    | 4126    | 11774    | 952   | 1067    | 4083    | 11817    |
| 616   | 1025    | 4125    | 11775    | 960   | 1068    | 4082    | 11818    |
| 624   | 1026    | 4124    | 11776    | 968   | 1069    | 4081    | 11819    |
| 632   | 1027    | 4123    | 11777    | 976   | 1070    | 4080    | 11820    |
| 640   | 1028    | 4122    | 11778    | 984   | 1071    | 4079    | 11821    |
| 648   | 1029    | 4121    | 11779    | 992   | 1072    | 4078    | 11822    |
| 656   | 1030    | 4120    | 11780    | 1000  | 1073    | 4077    | 11823    |
| 664   | 1031    | 4119    | 11781    | 1008  | 1074    | 4076    | 11824    |
| 672   | 1032    | 4118    | 11782    | 1016  | 1075    | 4075    | 11825    |
| 680   | 1033    | 4117    | 11783    | 1024  | 1076    | 4074    | 11826    |
| 688   | 1034    | 4116    | 11784    | 1032  | 1077    | 4073    | 11827    |
| 696   | 1035    | 4115    | 11785    | 1040  | 1078    | 4072    | 11828    |
| 704   | 1036    | 4114    | 11786    | 1048  | 1079    | 4071    | 11829    |
| 712   | 1037    | 4113    | 11787    | 1056  | 1080    | 4070    | 11830    |
| 720   | 1038    | 4112    | 11788    | 1064  | 1081    | 4069    | 11831    |
| 728   | 1039    | 4111    | 11789    | 1072  | 1082    | 4068    | 11832    |
| 736   | 1040    | 4110    | 11790    | 1080  | 1083    | 4067    | 11833    |
| 744   | 1041    | 4109    | 11791    | 1088  | 1084    | 4066    | 11834    |
| 752   | 1042    | 4108    | 11792    | 1096  | 1085    | 4065    | 11835    |
| 760   | 1043    | 4107    | 11793    | 1104  | 1086    | 4064    | 11836    |
| 768   | 1044    | 4106    | 11794    | 1112  | 1087    | 4063    | 11837    |
| 776   | 1045    | 4105    | 11795    | 1120  | 1088    | 4062    | 11838    |
| 784   | 1046    | 4104    | 11796    | 1128  | 1089    | 4061    | 11839    |
| 792   | 1047    | 4103    | 11797    | 1136  | 1090    | 4060    | 11840    |
| 800   | 1048    | 4102    | 11798    | 1144  | 1091    | 4059    | 11841    |
| 808   | 1049    | 4101    | 11799    | 1152  | 1092    | 4058    | 11842    |
| 816   | 1050    | 4100    | 11800    | 1160  | 1093    | 4057    | 11843    |
| 824   | 1051    | 4099    | 11801    | 1168  | 1094    | 4056    | 11844    |
| 832   | 1052    | 4098    | 11802    | 1176  | 1095    | 4055    | 11845    |
| 840   | 1053    | 4097    | 11803    | 1184  | 1096    | 4054    | 11846    |
| 848   | 1054    | 4096    | 11804    | 1192  | 1097    | 4053    | 11847    |
| 856   | 1055    | 4095    | 11805    | 1200  | 1098    | 4052    | 11848    |
| 864   | 1056    | 4094    | 11806    | 1208  | 1099    | 4051    | 11849    |
| 872   | 1057    | 4093    | 11807    | 1216  | 1100    | 4050    | 11850    |
| 880   | 1058    | 4092    | 11808    | 1224  | 1101    | 4049    | 11851    |
| 888   | 1059    | 4091    | 11809    | 1232  | 1102    | 4048    | 11852    |
| 896   | 1060    | 4090    | 11810    | 1240  | 1103    | 4047    | 11853    |
| 904   | 1061    | 4089    | 11811    | 1248  | 1104    | 4046    | 11854    |
| 912   | 1062    | 4088    | 11812    | 1256  | 1105    | 4045    | 11855    |
| 920   | 1063    | 4087    | 11813    | 1264  | 1106    | 4044    | 11856    |
| 928   | 1064    | 4086    | 11814    | 1272  | 1107    | 4043    | 11857    |

| Canal | Banda L | Banda C | Banda Ku | Canal | Banda L | Banda C | Banda Ku |
|-------|---------|---------|----------|-------|---------|---------|----------|
| IRD   | MHz     | MHz     | MHz      | IRD   | MHz     | MHz     | MHz      |
| 1280  | 1108    | 4042    | 11858    | 1624  | 1151    | 3999    | 11901    |
| 1288  | 1109    | 4041    | 11859    | 1632  | 1152    | 3998    | 11902    |
| 1296  | 1110    | 4040    | 11860    | 1640  | 1153    | 3997    | 11903    |
| 1304  | 1111    | 4039    | 11861    | 1648  | 1154    | 3996    | 11904    |
| 1312  | 1112    | 4038    | 11862    | 1656  | 1155    | 3995    | 11905    |
| 1320  | 1113    | 4037    | 11863    | 1664  | 1156    | 3994    | 11906    |
| 1328  | 1114    | 4036    | 11864    | 1672  | 1157    | 3993    | 11907    |
| 1336  | 1115    | 4035    | 11865    | 1680  | 1158    | 3992    | 11908    |
| 1344  | 1116    | 4034    | 11866    | 1688  | 1159    | 3991    | 11909    |
| 1352  | 1117    | 4033    | 11867    | 1696  | 1160    | 3990    | 11910    |
| 1360  | 1118    | 4032    | 11868    | 1704  | 1161    | 3989    | 11911    |
| 1368  | 1119    | 4031    | 11869    | 1712  | 1162    | 3988    | 11912    |
| 1376  | 1120    | 4030    | 11870    | 1720  | 1163    | 3987    | 11913    |
| 1384  | 1121    | 4029    | 11871    | 1728  | 1164    | 3986    | 11914    |
| 1392  | 1122    | 4028    | 11872    | 1736  | 1165    | 3985    | 11915    |
| 1400  | 1123    | 4027    | 11873    | 1744  | 1166    | 3984    | 11916    |
| 1408  | 1124    | 4026    | 11874    | 1752  | 1167    | 3983    | 11917    |
| 1416  | 1125    | 4025    | 11875    | 1760  | 1168    | 3982    | 11918    |
| 1424  | 1126    | 4024    | 11876    | 1768  | 1169    | 3981    | 11919    |
| 1432  | 1127    | 4023    | 11877    | 1776  | 1170    | 3980    | 11920    |
| 1440  | 1128    | 4022    | 11878    | 1784  | 1171    | 3979    | 11921    |
| 1448  | 1129    | 4021    | 11879    | 1792  | 1172    | 3978    | 11922    |
| 1456  | 1130    | 4020    | 11880    | 1800  | 1173    | 3977    | 11923    |
| 1464  | 1131    | 4019    | 11881    | 1808  | 1174    | 3976    | 11924    |
| 1472  | 1132    | 4018    | 11882    | 1816  | 1175    | 3975    | 11925    |
| 1480  | 1133    | 4017    | 11883    | 1824  | 1176    | 3974    | 11926    |
| 1488  | 1134    | 4016    | 11884    | 1832  | 1177    | 3973    | 11927    |
| 1496  | 1135    | 4015    | 11885    | 1840  | 1178    | 3972    | 11928    |
| 1504  | 1136    | 4014    | 11886    | 1848  | 1179    | 3971    | 11929    |
| 1512  | 1137    | 4013    | 11887    | 1856  | 1180    | 3970    | 11930    |
| 1520  | 1138    | 4012    | 11888    | 1864  | 1181    | 3969    | 11931    |
| 1528  | 1139    | 4011    | 11889    | 1872  | 1182    | 3968    | 11932    |
| 1536  | 1140    | 4010    | 11890    | 1880  | 1183    | 3967    | 11933    |
| 1544  | 1141    | 4009    | 11891    | 1888  | 1184    | 3966    | 11934    |
| 1552  | 1142    | 4008    | 11892    | 1896  | 1185    | 3965    | 11935    |
| 1560  | 1143    | 4007    | 11893    | 1904  | 1186    | 3964    | 11936    |
| 1568  | 1144    | 4006    | 11894    | 1912  | 1187    | 3963    | 11937    |
| 1576  | 1145    | 4005    | 11895    | 1920  | 1188    | 3962    | 11938    |
| 1584  | 1146    | 4004    | 11896    | 1928  | 1189    | 3961    | 11939    |
| 1592  | 1147    | 4003    | 11897    | 1936  | 1190    | 3960    | 11940    |
| 1600  | 1148    | 4002    | 11898    | 1944  | 1191    | 3959    | 11941    |
| 1608  | 1149    | 4001    | 11899    | 1952  | 1192    | 3958    | 11942    |
| 1616  | 1150    | 4000    | 11900    | 1960  | 1193    | 3957    | 11943    |

| Canal | Banda L | Banda C | Banda Ku | Canal | Banda L | Banda C | Banda Ku |
|-------|---------|---------|----------|-------|---------|---------|----------|
| IRD   | MHz     | MHz     | MHz      | IRD   | MHz     | MHz     | MHz      |
| 1968  | 1194    | 3956    | 11944    | 2312  | 1237    | 3913    | 11987    |
| 1976  | 1195    | 3955    | 11945    | 2320  | 1238    | 3912    | 11988    |
| 1984  | 1196    | 3954    | 11946    | 2328  | 1239    | 3911    | 11989    |
| 1992  | 1197    | 3953    | 11947    | 2336  | 1240    | 3910    | 11990    |
| 2000  | 1198    | 3952    | 11948    | 2344  | 1241    | 3909    | 11991    |
| 2008  | 1199    | 3951    | 11949    | 2352  | 1242    | 3908    | 11992    |
| 2016  | 1200    | 3950    | 11950    | 2360  | 1243    | 3907    | 11993    |
| 2024  | 1201    | 3949    | 11951    | 2368  | 1244    | 3906    | 11994    |
| 2032  | 1202    | 3948    | 11952    | 2376  | 1245    | 3905    | 11995    |
| 2040  | 1203    | 3947    | 11953    | 2384  | 1246    | 3904    | 11996    |
| 2048  | 1204    | 3946    | 11954    | 2392  | 1247    | 3903    | 11997    |
| 2056  | 1205    | 3945    | 11955    | 2400  | 1248    | 3902    | 11998    |
| 2064  | 1206    | 3944    | 11956    | 2408  | 1249    | 3901    | 11999    |
| 2072  | 1207    | 3943    | 11957    | 2416  | 1250    | 3900    | 12000    |
| 2080  | 1208    | 3942    | 11958    | 2424  | 1251    | 3899    | 12001    |
| 2088  | 1209    | 3941    | 11959    | 2432  | 1252    | 3898    | 12002    |
| 2096  | 1210    | 3940    | 11960    | 2440  | 1253    | 3897    | 12003    |
| 2104  | 1211    | 3939    | 11961    | 2448  | 1254    | 3896    | 12004    |
| 2112  | 1212    | 3938    | 11962    | 2456  | 1255    | 3895    | 12005    |
| 2120  | 1213    | 3937    | 11963    | 2464  | 1256    | 3894    | 12006    |
| 2128  | 1214    | 3936    | 11964    | 2472  | 1257    | 3893    | 12007    |
| 2136  | 1215    | 3935    | 11965    | 2480  | 1258    | 3892    | 12008    |
| 2144  | 1216    | 3934    | 11966    | 2488  | 1259    | 3891    | 12009    |
| 2152  | 1217    | 3933    | 11967    | 2496  | 1260    | 3890    | 12010    |
| 2160  | 1218    | 3932    | 11968    | 2504  | 1261    | 3889    | 12011    |
| 2168  | 1219    | 3931    | 11969    | 2512  | 1262    | 3888    | 12012    |
| 2176  | 1220    | 3930    | 11970    | 2520  | 1263    | 3887    | 12013    |
| 2184  | 1221    | 3929    | 11971    | 2528  | 1264    | 3886    | 12014    |
| 2192  | 1222    | 3928    | 11972    | 2536  | 1265    | 3885    | 12015    |
| 2200  | 1223    | 3927    | 11973    | 2544  | 1266    | 3884    | 12016    |
| 2208  | 1224    | 3926    | 11974    | 2552  | 1267    | 3883    | 12017    |
| 2216  | 1225    | 3925    | 11975    | 2560  | 1268    | 3882    | 12018    |
| 2224  | 1226    | 3924    | 11976    | 2568  | 1269    | 3881    | 12019    |
| 2232  | 1227    | 3923    | 11977    | 2576  | 1270    | 3880    | 12020    |
| 2240  | 1228    | 3922    | 11978    | 2584  | 1271    | 3879    | 12021    |
| 2248  | 1229    | 3921    | 11979    | 2592  | 1272    | 3878    | 12022    |
| 2256  | 1230    | 3920    | 11980    | 2600  | 1273    | 3877    | 12023    |
| 2264  | 1231    | 3919    | 11981    | 2608  | 1274    | 3876    | 12024    |
| 2272  | 1232    | 3918    | 11982    | 2616  | 1275    | 3875    | 12025    |
| 2280  | 1233    | 3917    | 11983    | 2624  | 1276    | 3874    | 12026    |
| 2288  | 1234    | 3916    | 11984    | 2632  | 1277    | 3873    | 12027    |
| 2296  | 1235    | 3915    | 11985    | 2640  | 1278    | 3872    | 12028    |
| 2304  | 1236    | 3914    | 11986    | 2648  | 1279    | 3871    | 12029    |

| Canal<br>IRD | Banda L<br>MHz | Banda C<br>MHz | Banda Ku<br>MHz | Canal<br>IRD | Banda L<br>MHz | Banda C<br>MHz | Banda Ku<br>MHz |
|--------------|----------------|----------------|-----------------|--------------|----------------|----------------|-----------------|
| 2656         | 1280           | 3870           | 12030           | 3000         | 1323           | 3827           | 12073           |
| 2664         | 1281           | 3869           | 12031           | 3008         | 1324           | 3826           | 12074           |
| 2672         | 1282           | 3868           | 12032           | 3016         | 1325           | 3825           | 12075           |
| 2680         | 1283           | 3867           | 12033           | 3024         | 1326           | 3824           | 12076           |
| 2688         | 1284           | 3866           | 12034           | 3032         | 1327           | 3823           | 12077           |
| 2696         | 1285           | 3865           | 12035           | 3040         | 1328           | 3822           | 12078           |
| 2704         | 1286           | 3864           | 12036           | 3048         | 1329           | 3821           | 12079           |
| 2712         | 1287           | 3863           | 12037           | 3056         | 1330           | 3820           | 12080           |
| 2720         | 1288           | 3862           | 12038           | 3064         | 1331           | 3819           | 12081           |
| 2728         | 1289           | 3861           | 12039           | 3072         | 1332           | 3818           | 12082           |
| 2736         | 1290           | 3860           | 12040           | 3080         | 1333           | 3817           | 12083           |
| 2744         | 1291           | 3859           | 12041           | 3088         | 1334           | 3816           | 12084           |
| 2752         | 1292           | 3858           | 12042           | 3096         | 1335           | 3815           | 12085           |
| 2760         | 1293           | 3857           | 12043           | 3104         | 1336           | 3814           | 12086           |
| 2768         | 1294           | 3856           | 12044           | 3112         | 1337           | 3813           | 12087           |
| 2776         | 1295           | 3855           | 12045           | 3120         | 1338           | 3812           | 12088           |
| 2784         | 1296           | 3854           | 12046           | 3128         | 1339           | 3811           | 12089           |
| 2792         | 1297           | 3853           | 12047           | 3136         | 1340           | 3810           | 12090           |
| 2800         | 1298           | 3852           | 12048           | 3144         | 1341           | 3809           | 12091           |
| 2808         | 1299           | 3851           | 12049           | 3152         | 1342           | 3808           | 12092           |
| 2816         | 1300           | 3850           | 12050           | 3160         | 1343           | 3807           | 12093           |
| 2824         | 1301           | 3849           | 12051           | 3168         | 1344           | 3806           | 12094           |
| 2832         | 1302           | 3848           | 12052           | 3176         | 1345           | 3805           | 12095           |
| 2840         | 1303           | 3847           | 12053           | 3184         | 1346           | 3804           | 12096           |
| 2848         | 1304           | 3846           | 12054           | 3192         | 1347           | 3803           | 12097           |
| 2856         | 1305           | 3845           | 12055           | 3200         | 1348           | 3802           | 12098           |
| 2864         | 1306           | 3844           | 12056           | 3208         | 1349           | 3801           | 12099           |
| 2872         | 1307           | 3843           | 12057           | 3216         | 1350           | 3800           | 12100           |
| 2880         | 1308           | 3842           | 12058           | 3224         | 1351           | 3799           | 12101           |
| 2888         | 1309           | 3841           | 12059           | 3232         | 1352           | 3798           | 12102           |
| 2896         | 1310           | 3840           | 12060           | 3240         | 1353           | 3797           | 12103           |
| 2904         | 1311           | 3839           | 12061           | 3248         | 1354           | 3796           | 12104           |
| 2912         | 1312           | 3838           | 12062           | 3256         | 1355           | 3795           | 12105           |
| 2920         | 1313           | 3837           | 12063           | 3264         | 1356           | 3794           | 12106           |
| 2928         | 1314           | 3836           | 12064           | 3272         | 1357           | 3793           | 12107           |
| 2936         | 1315           | 3835           | 12065           | 3280         | 1358           | 3792           | 12108           |
| 2944         | 1316           | 3834           | 12066           | 3288         | 1359           | 3791           | 12109           |
| 2952         | 1317           | 3833           | 12067           | 3296         | 1360           | 3790           | 12110           |
| 2960         | 1318           | 3832           | 12068           | 3304         | 1361           | 3789           | 12111           |
| 2968         | 1319           | 3831           | 12069           | 3312         | 1362           | 3788           | 12112           |
| 2976         | 1320           | 3830           | 12070           | 3320         | 1363           | 3787           | 12113           |
| 2984         | 1321           | 3829           | 12071           | 3328         | 1364           | 3786           | 12114           |
| 2992         | 1322           | 3828           | 12072           | 3336         | 1365           | 3785           | 12115           |



| Canal | Banda L | Banda C | Banda Ku | Canal | Banda L | Banda C | Banda Ku |
|-------|---------|---------|----------|-------|---------|---------|----------|
| IRD   | MHz     | MHz     | MHz      | IRD   | MHz     | MHz     | MHz      |
| 3344  | 1366    | 3784    | 12116    | 3688  | 1409    | 3741    | 12159    |
| 3352  | 1367    | 3783    | 12117    | 3696  | 1410    | 3740    | 12160    |
| 3360  | 1368    | 3782    | 12118    | 3704  | 1411    | 3739    | 12161    |
| 3368  | 1369    | 3781    | 12119    | 3712  | 1412    | 3738    | 12162    |
| 3376  | 1370    | 3780    | 12120    | 3720  | 1413    | 3737    | 12163    |
| 3384  | 1371    | 3779    | 12121    | 3728  | 1414    | 3736    | 12164    |
| 3392  | 1372    | 3778    | 12122    | 3736  | 1415    | 3735    | 12165    |
| 3400  | 1373    | 3777    | 12123    | 3744  | 1416    | 3734    | 12166    |
| 3408  | 1374    | 3776    | 12124    | 3752  | 1417    | 3733    | 12167    |
| 3416  | 1375    | 3775    | 12125    | 3760  | 1418    | 3732    | 12168    |
| 3424  | 1376    | 3774    | 12126    | 3768  | 1419    | 3731    | 12169    |
| 3432  | 1377    | 3773    | 12127    | 3776  | 1420    | 3730    | 12170    |
| 3440  | 1378    | 3772    | 12128    | 3784  | 1421    | 3729    | 12171    |
| 3448  | 1379    | 3771    | 12129    | 3792  | 1422    | 3728    | 12172    |
| 3456  | 1380    | 3770    | 12130    | 3800  | 1423    | 3727    | 12173    |
| 3464  | 1381    | 3769    | 12131    | 3808  | 1424    | 3726    | 12174    |
| 3472  | 1382    | 3768    | 12132    | 3816  | 1425    | 3725    | 12175    |
| 3480  | 1383    | 3767    | 12133    | 3824  | 1426    | 3724    | 12176    |
| 3488  | 1384    | 3766    | 12134    | 3832  | 1427    | 3723    | 12177    |
| 3496  | 1385    | 3765    | 12135    | 3840  | 1428    | 3722    | 12178    |
| 3504  | 1386    | 3764    | 12136    | 3848  | 1429    | 3721    | 12179    |
| 3512  | 1387    | 3763    | 12137    | 3856  | 1430    | 3720    | 12180    |
| 3520  | 1388    | 3762    | 12138    | 3864  | 1431    | 3719    | 12181    |
| 3528  | 1389    | 3761    | 12139    | 3872  | 1432    | 3718    | 12182    |
| 3536  | 1390    | 3760    | 12140    | 3880  | 1433    | 3717    | 12183    |
| 3544  | 1391    | 3759    | 12141    | 3888  | 1434    | 3716    | 12184    |
| 3552  | 1392    | 3758    | 12142    | 3896  | 1435    | 3715    | 12185    |
| 3560  | 1393    | 3757    | 12143    | 3904  | 1436    | 3714    | 12186    |
| 3568  | 1394    | 3756    | 12144    | 3912  | 1437    | 3713    | 12187    |
| 3576  | 1395    | 3755    | 12145    | 3920  | 1438    | 3712    | 12188    |
| 3584  | 1396    | 3754    | 12146    | 3928  | 1439    | 3711    | 12189    |
| 3592  | 1397    | 3753    | 12147    | 3936  | 1440    | 3710    | 12190    |
| 3600  | 1398    | 3752    | 12148    | 3944  | 1441    | 3709    | 12191    |
| 3608  | 1399    | 3751    | 12149    | 3952  | 1442    | 3708    | 12192    |
| 3616  | 1400    | 3750    | 12150    | 3960  | 1443    | 3707    | 12193    |
| 3624  | 1401    | 3749    | 12151    | 3968  | 1444    | 3706    | 12194    |
| 3632  | 1402    | 3748    | 12152    | 3976  | 1445    | 3705    | 12195    |
| 3640  | 1403    | 3747    | 12153    | 3984  | 1446    | 3704    | 12196    |
| 3648  | 1404    | 3746    | 12154    | 3992  | 1447    | 3703    | 12197    |
| 3656  | 1405    | 3745    | 12155    | 4000  | 1448    | 3702    | 12198    |
| 3664  | 1406    | 3744    | 12156    | 4008  | 1449    | 3701    | 12199    |
| 3672  | 1407    | 3743    | 12157    | 4016  | 1450    | 3700    | 12200    |
| 3680  | 1408    | 3742    | 12158    |       |         |         |          |