

102
181



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA RED DE VOZ Y DATOS A TRAVÉS
DEL SATÉLITE SOLIDARIDAD I PARA EL CONSORCIO TELEVISIA**

**T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN COMPUTACIÓN
P R E S E N T A
IRENE ZIMMERER RUBIO**

I



Director de tesis M. I. Lauro Santiago Cruz

Ciudad Universitaria

1997

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Dedico este trabajo

A mis padres Federico Zimmerer Arguello y Elvira Rubio Castillo por haberme dado la vida y siempre apoyarme en mis decisiones, a todos mis hermanos Enrique, Sandra, Mónica y especialmente a mi hermana gemela Silvia por brindarme todo lo que tiene sin esperar nada a cambio y tenerme mucha paciencia, a Mario que aunque no estuvo a mi lado siempre me impulso para cumplir esta meta, a Francisco Martínez por ser la pareja incondicional de mi hermana gemela y ayudarme en lo que pudo, a mis tias Elsa e Irma y sus hijos Ricardo y Edgar por ser mi familia, a mi tío Alfonso, a mis mejores amigas Claudia y Diana por contar siempre con ellas, a todos mis compañeros de tesis porque sin el esfuerzo de todos no hubiera sido posible este trabajo, a mis compañeros de trabajo y a mi jefe Lorenzo.

A todos los quiero mucho y gracias por aceptarme tal como soy.

Irene Zimmerer Rubio

A Dios por haberme dado el regalo de la vida e iluminar mis pasos en cada momento.

A mis padres Josefina Arellano y Sebastián Pérez por haberme dado lo mejor de su vida... su amor y comprensión.

A mi abuelo Francisco Arellano, mi tía Ernestina y mis hermanos Víctor Manuel, Ma de Lourdes, Jorge y Guadalupe que siempre me han apoyado, a ellos les dedico este trabajo ya que es la mejor familia que pude haber tenido.

Todo mi amor para ellos.

Francisco Pérez Arellano

Esta tesis la dedico a las personas que siempre estarán presentes en mi corazón:

A mi mamá Maria Guadalupe González Mondragón que me dio la educación esencial para lograr mis metas.

A mi abuelita Maria de Jesús Mondragón Acosta que me vio crecer y me ayudo a ser quien soy.

A mi papá José de Jesús Márquez Garcia que con su ejemplo y fortaleza de permanecer en lo más alto, me hizo lograr esta tesis.

Gracias, los recuerdo por siempre.

A mi novia Sonia Segura Arias que me apoyo incondicionalmente para lograr titularme, con mucho cariño.

A mi tío Jorge González Mondragón quien estuvo presente durante todos mis estudios.

José de Jesús Márquez González

Doy gracias a mis padres que me motivaron y apoyaron en mi formación académica, quienes en todo momento estuvieron pendientes de mi desempeño. A mi madre María Cruz Sánchez quien me brindo en todo momento una motivación constante para que pudiera salir adelante, también por su gran esmero en mi educación. A mi padre Leopoldo Martínez García por haberse preocupado porque en todo momento no me faltara nada y siempre haber sido una guía en mi camino.

Doy gracias a mis compañeros , maestros y amigos por la información y conocimientos aportados a este trabajo.

Agradezco a la UNAM por haberme permitido realizar mis estudios dentro de esta gran institución, a la Facultad de Ingeniería por brindarme sus instalaciones para poder realizar mis tareas y trabajos.

Leopoldo Silvestre Martínez Sánchez

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1 CONCEPTOS BÁSICOS	4
1.1.- MEDIOS DE TRANSMISIÓN	5
1.2.- TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN	8
1.2.1.- Modos de operación	8
1.2.2.- Tipos de comunicación	9
1.2.3.- Modos de transmisión	9
1.3.- TÉCNICAS DE MODULACIÓN	10
1.4.- TÉCNICAS DE MULTIPLEXACIÓN	20
1.5.- ARQUITECTURA DE REDES SATELITALES	23
1.6.- COMUNICACIÓN VIA SATÉLITE	25
1.6.1.- Clasificación de satélites	26
1.6.2.- Principales tipos de satélites	26
1.6.3.- Puesta en órbita de un satélite	28
1.6.4.- Distancia y velocidad a la que se encuentra un satélite artificial	30
1.6.5.- Consideraciones teóricas	30
1.7.- ESTACIONES TERRENAS	35
CAPITULO 2 DESCRIPCIÓN DEL SATÉLITE SOLIDARIDAD I	43
2.1.- ANTECEDENTES	44
2.2.- CARACTERÍSTICAS DE LOS SATÉLITES	46
2.3.- REGIONES DE COBERTURA PARA CADA BANDA	49

3.4.1.2.3.-	Convertidor de bajada	96
3.4.1.2.4.-	Descripción general del modulador/demodulador (Modem)	97
3.4.1.2.5.-	Demultiplexor	98
3.4.2.-	Estaciones remotas	98
3.4.2.1.-	Sistema de transmisión	99
3.4.2.1.1.-	Diplexor	100
3.4.2.1.2.-	Convertidor ascendente	100
3.4.2.1.3.-	Amplificador de estado sólido SSPA	101
3.4.2.2.-	Sistema de recepción	101
3.4.2.2.1.-	Convertidor descendente de bajo nivel de ruido	101
3.4.2.2.2.-	Descripción de antena de una estación terrena remota	101
CAPITULO 4	CÁLCULO DEL ENLACE	103
4.1.-	CÁLCULO DEL ENLACE	104
4.1.1.-	Cálculos preliminares	106
4.1.2.-	Enlace ascendente	110
4.1.3.-	Enlace descendente	115
4.1.4.-	Evaluación del enlace	121
4.2.-	ESPECIFICACION DEL EQUIPO QUE CONFORMA LA ESTACIÓN TERRENA MAESTRA	130
4.3.-	ESPECIFICACIÓN DEL EQUIPO QUE CONFORMAN UNA ESTACIÓN TERRENA REMOTA	136
CONCLUSIONES	140

BIBLIOGRAFÍA	142
---------------------------	------------

APÉNDICES

APÉNDICE A	Cables coaxiales	A1
APÉNDICE B	Tablas de Erlang	B1
APÉNDICE C	Tablas de Telecomm para el cálculo del enlace	C1
APÉNDICE D	Software para el cálculo del enlace	D1

INTRODUCCIÓN



Cuando la televisión en México tuvo su inicio en 1950, el gobierno mexicano adoptó un sistema propio para su operación en el que se contemplaron dos tipos de estaciones: las experimentales o educativas y las de carácter comercial, las cuales fueron concesionadas a particulares. El modelo, sustentado en tres grandes redes nacionales y decenas de emisoras locales, funcionó adecuadamente a lo largo de las dos siguientes décadas. Pero en 1968, se otorgaron otras dos concesiones para operar estaciones de amplia cobertura, rompiendo el balance que hasta entonces había tenido el medio, por lo que en junio de 1972, el entonces presidente de México convocó a una sesión de trabajo con todos los concesionarios para planear una forma de organización y utilización de la televisión acorde a las nuevas circunstancias. El resultado fue el establecimiento de la fórmula de la televisión mexicana, cimentada en el sistema de economía mixta del país y buscando conjuntar esfuerzos para atender apropiadamente las necesidades y preferencias del público.

En este marco, en 1973, se creó Grupo Televisa cuyo núcleo es la empresa Televisa, S. A., que administra y programa cuatro canales de televisión concesionados en la siguiente forma:

- 1) XEW - TV canal 2 a la sociedad anónima TELEVIMEX, S. A.
- 2) XH - TV Canal 4 a la sociedad anónima Televisión de México, S. A.
- 3) XHGC - TV Canal 5 a la sociedad anónima Televisión González Camarena, S. A.
- 4) XEQ - TV Canal 9 a la sociedad anónima de Fomento Televisivo Nacional, S. A.

Televisa es una empresa totalmente mexicana, que mantiene entre sus propósitos realizar una comunicación nacionalista y moderna, mediante actividades culturales, de recreación y fomento económico. Para nutrir a los cuatro canales de televisión que administra y programa, Televisa cuenta con 2 centros para producir sus emisiones, uno de ellos en el centro de la ciudad, en donde se llevan a cabo programas cómico-musicales y noticieros, todos ellos en vivo; el segundo, localizado en el suroeste de la capital, en donde se realizan grabaciones de programas cómicos, básicamente. Todas las instalaciones están dotadas con la mejor tecnología que ofrece el mercado, debido a esto son renovadas constantemente. Desde su fundación Televisa se ha normado de acuerdo al espíritu fundamental de la fórmula mexicana de televisión; en el que el canal y su programación respondan a las necesidades fundamentales y los códigos de comunicación de los distintos auditorios que conforman el país.

Con las señales de sus cuatro canales, Televisa da servicio a la mayor parte del territorio mexicano, alcanzado potencialmente a un 80% de telehogares. Lo anterior es posible gracias a la amplia red de instalaciones, por lo que está en disposición de brindar servicios de televisión a nivel local, regional y nacional.

El Grupo Televisa es uno de los más grandes consorcios de medios de comunicación de habla hispana en el mundo, el cual a través de sus subsidiarias produce, distribuye y transmite señales de televisión, también pública y distribuye diferentes revistas, edita un periódico, provee servicios de televisión por cable y transmite programas de radio, además distribuye producciones cinematográficas y grabaciones musicales, y promueve eventos deportivos y especiales.

Televisa distribuye sus señales en todo el país, para lograrlo opera el centro transmisor de Tres Padres ubicado en el municipio de Ecatepec, para teledifusión, y el centro de enlaces ascendentes ubicado en la ciudad de México para servicio de televisión vía satélite.

Considerando lo anterior es fácil suponer la necesidad de interconexión de señales de voz y datos como parte importante de la organización logística, de las áreas administrativas más importantes como son nóminas, sistemas, telecomunicaciones, programaciones, etc., por lo que se requiere de un medio capaz de garantizar en todo momento la confiabilidad y la capacidad de soportar este volumen de información.

De ahí que nuestro objetivo será diseñar y calcular una red de voz y datos a través del satélite Solidaridad 1, con una estación maestra en el D.F. (Televisa Chapultepec) y estaciones remotas en el interior de la República Mexicana (Guadalajara, Mexicali y Monterrey) en configuración estrella y capaz de satisfacer estas necesidades.

Por lo que la presentación de nuestro trabajo esta organizado de la siguiente manera:

En el primer capítulo trataremos conceptos básicos como son los tipos de transmisión de información, arquitectura de redes, etc., en general los conceptos necesarios para comprender lo que es el concepto de telecomunicaciones satelitales.

En el segundo capítulo se especificarán las características técnicas del satélite Solidaridad 1 y las regiones de cobertura para los diferentes servicios disponibles en éste, así como las técnicas de acceso existentes a los satélites.

En el tercer capítulo se dará una visión general del proceso de una comunicación de voz y datos mediante el satélite, así como las características de la información de las áreas administrativas más importantes involucradas en este proyecto, se continúa con el procedimiento de dimensionamiento del tráfico de información que habrá de soportar el diseño aquí propuesto. Finalmente se expondrán las características generales de la red propuesta así como la descripción del equipo a emplear para cada una de las estaciones, tanto maestra como remotas.

En el cuarto capítulo se realizará el cálculo formal de enlace para cada una de las plazas propuestas en el proyecto (Guadalajara, Mexicali y Monterrey), y en base a los resultados obtenidos, se seleccionará el equipo que mejor cumpla las especificaciones del cálculo.

Posteriormente expondremos los resultados y conclusiones obtenidas de acuerdo al trabajo realizado.

Finalmente presentaremos la bibliografía consultada y la información adicional integrada en un grupo de apéndices.

CONCEPTOS

BÁSICOS

En el presente capítulo se pretenden ilustrar los medios por los cuales es posible transmitir información, así como la confiabilidad de éstos, se proporcionarán las diferentes formas existentes de la transmisión de la información, finalmente nos enfocaremos a las herramientas de comunicaciones satelitales, veremos las arquitecturas de redes existentes, los diferentes tipos de satélites, y de una manera general como esta conformada una estación terrena.

1.1.- MEDIOS DE TRANSMISIÓN

Un medio de transmisión es aquel elemento capaz de trasladar señales electromagnéticas de un punto a otro. Para la comunicación a largas distancias es necesario que se efectúen algunas alteraciones en la señal eléctrica que conducirá la información. En este proceso, las señales que transportan la información se contaminan con ruido, éste es generado por fenómenos naturales y artificiales, introduciendo errores en la transmisión de la información. Los elementos básicos de un sistema de comunicación son:

- 1) El transmisor
- 2) El receptor
- 3) El medio de transmisión

La función del transmisor es preparar la información, de forma tal que se puedan superar las limitaciones impuestas por el medio de transmisión.

El papel del receptor es efectuar las operaciones para recuperar la información con la menor cantidad de errores posibles.

El medio de transmisión es la facilidad física utilizada para interconectar al transmisor y al receptor. Este restringe la calidad del flujo de información en la medida en que es imposible controlar o filtrar los efectos del ruido auditivo, las interferencias, la atenuación y la distorsión.

Una característica importante del medio de transmisión es el ancho de banda, que es la medida de la capacidad de un enlace para servir como medio de transmisión; se mide en bits por segundo o en Hertz, dependiendo del sistema de comunicaciones empleado.

A continuación se mencionan algunos medios de transmisión y sus características generales:

Cable coaxial

El cable coaxial se conforma por un alambre conductor básico, cubierto por una placa metálica que actúa como tierra, este alambre y la tierra se encuentran separados por un aislante plástico y, finalmente, todo el conjunto está protegido por una cubierta exterior también aislante.

Los cables coaxiales pueden ser de varios tipos y anchos, sin embargo, su principal característica es que pueden transportar a una señal eléctrica a mayor distancia entre más grueso es el conductor (ver apéndice A).

A continuación se mencionan las principales ventajas de este tipo de cable:

- Permite la transmisión de voz, video y datos.
- Es de fácil instalación.
- Tiene un ancho de banda de hasta 10 Mbps.
- Soporta distancias hasta de 600 metros sin necesidad de repetidores
- Presenta muy buena tolerancia a interferencias debidas a factores ambientales.

Cable telefónico

El cable telefónico se forma principalmente por dos alambres de cobre que se encuentran aislados con una cubierta plástica y torcidos uno contra el otro. Es esta la característica que los distingue con el nombre de par trenzado.

El par trenzado, a su vez, se encuentra cubierto por una capa aislante y protectora en el exterior.

Las causas de falla de cables generalmente se deben a factores humanos y raras veces a factores ambientales, debido a que la vida útil de un cable bien instalado y protegido supera los 10 años.

A continuación se mencionan sus principales ventajas:

- Facilidad y rapidez de instalación.
- Tiene un ancho de banda de hasta 10 Mbps.
- Soporta distancias de hasta 110 metros con cables UTP (*Unshielded Twisted Pair*) y de hasta 500 metros en caso de cable STP (*Shielded Twisted Pair*).
- Generalmente presenta buena tolerancia a interferencias debidas a factores ambientales.

Fibra óptica

El cable de fibra óptica se compone de una fibra muy delgada, elaborada de dos tipos de vidrio con diferentes índices de refracción, uno para la parte interior y otro para la parte exterior, con la finalidad de evitar pérdidas de información.

La fibra óptica, a su vez, se encuentra cubierta por una placa aislante y protectora en la parte exterior para darle mayor integridad estructural al cable. Es sin embargo, extremadamente flexible, ya que se pueden realizar giros de hasta 360 grados sin problemas de afectación al mismo. El diámetro de la fibra interior más comúnmente usado es de 62.5 micras y el de la fibra exterior de 125 micras.

Presentan una atenuación máxima de 4 dB/km. Para la transmisión de información en redes locales, cada fibra provee un camino de transmisión único de extremo a extremo.

Es por esto que generalmente se producen en conjuntos de mínimo dos fibras por cable. Las distancias máximas obtenidas para redes locales son de 2000 metros de nodo a nodo, sin el uso de amplificadores. Entre las principales ventajas de la fibra óptica se encuentran las siguientes:

- Permite la transmisión de voz, video y datos por el mismo canal.
- Se emplea en aplicaciones de alta velocidad.
- No genera señales eléctricas o magnéticas.
- Es inmune a interferencias y relámpagos.
- Puede propagar una señal sin necesidad de utilizar un amplificador a distancias de hasta 27 kms.
- Tiene un ancho de banda de hasta 200 Mbps.
- Presenta excelente tolerancia a factores ambientales.

Microondas

Un enlace de microondas es un sistema de transmisión, entre dos puntos fijos en línea de vista, que se realiza por medio de ondas radioeléctricas, las cuales son concentradas por medio de antenas directivas. Las microondas electromagnéticas forman parte del espectro electromagnético y se les conoce de este modo porque utilizan una frecuencia de transmisión con longitud de onda menor o igual a una micra. En microondas el camino entre un transmisor y un receptor lo constituye el medio ambiente, por lo que las condiciones de propagación (distancia y visibilidad) para distancias largas, frecuentemente requieren de la división del enlace en varias secciones, donde en cada punto intermedio de este enlace se coloca un repetidor.

Los enlaces de microondas dependen de:

- La ganancia necesaria para superar la atenuación del enlace a un nivel aceptable en cuanto a la potencia de transmisión que se requiere.
- La directividad (relacionada con la ganancia de la antena).
- La frecuencia de la portadora empleada.
- Ancho de banda permisible y el costo.

Satélites

La comunicación por satélite se considera un sistema de radio microondas con un gran repetidor en el espacio, éste tiene uno o más transpondedores, cada uno de los cuales detecta una señal en la porción del espectro, la amplifica y la retransmite a otra frecuencia para evitar interferencia con la señal que recibe. Se consideran una herramienta indispensable a emplear en telecomunicaciones, ya que:

- Ofrecen una cobertura (huella) geográfica muy amplia.

- Dentro de la huella, se puede disponer inmediatamente de canales de comunicación de alta calidad entre varias estaciones terrenas
- El satélite recibe señales enviadas desde la tierra, las amplifica y las reenvía nuevamente a la tierra
- Los satélites domésticos vuelan en órbitas geoestacionarias a más de 36,000 kms de altura, a esta altura se tiene una vista de aproximadamente un tercio de la Tierra. Normalmente el "campo de vista electromagnético" es menor que el visual

Características de operación de los satélites

- Presenta un retraso alto de señal, más de $\frac{1}{2}$ segundo
- Su costo es independiente de la distancia
- Tiene capacidad de "broadcast" (envíos múltiples o transmisión general).
- Soporta una capacidad de transmisión de más de 60 ó 120 Mbps, dependiendo del diseño de los transpondedores

La cantidad de repetidores que se requerirían, si se utiliza un enlace de microondas, para una distancia de 2,500 kms, sería del orden de 50, mientras que para un enlace satelital se utilizarían a lo mucho dos repetidores.

1.2- TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN

La transmisión de información no sólo está relacionada con señales que cambian en el tiempo, sino también con los cambios que ocurren de manera impredecible. Un requisito necesario es el empleo de un ancho de banda que contiene las frecuencias de las señales. Todos los sistemas de comunicación pueden juzgarse en términos de ancho de banda, relación señal a ruido y factores económicos (costo).

1.2.1 Modos de operación

Una comunicación se puede establecer de las siguientes formas: simplex, half-duplex y full-duplex, las cuales son explicadas a continuación:

1. **Simplex.**- La información se transmite en un sólo sentido, sin poder transmitirse en sentido opuesto, los papeles del transmisor y el receptor son fijos, este tipo de transmisión se utilizaba en radiodifusión y en televisión comercial.
2. **Half-duplex** - La transmisión tiene lugar en ambos sentidos pero no simultáneamente, con lo cual los papeles del transmisor y el receptor se invierten cuantas veces sea necesario, hasta completar el intercambio de información. Esta forma tiene el inconveniente de una gran demora por inversión de línea. En este modo de operación se pueden utilizar 2 ó 4 hilos, este modo de transmisión es usado en sistemas de tipo pregunta/respuesta como en el caso de las terminales de computadora.

3. **Full-duplex** - También llamada duplex integral, en este modo de transmisión, la información puede ir por las líneas en ambos sentidos simultáneamente. Estos tipos de sistemas son utilizados en las aplicaciones que exigen un empleo constante de canal y un tiempo de respuesta rápido.

1.2.2 Tipos de comunicación

Para los tipos de comunicación se tienen la comunicación punto a punto y la multipunto.

1. **Punto a punto** - La comunicación punto a punto une a sólo dos estaciones de trabajo, las cuales pueden ser dos computadoras personales.
2. **Multipunto** - Es un sistema de comunicaciones en donde varias estaciones de trabajo se encuentran conectadas entre sí. Para una red de computadoras, se puede nombrar el computador central, comunicado con cada una de las terminales.

1.2.3 Modos de transmisión digital

Muchos tipos de sistemas de comunicaciones son interactivos, por consiguiente la sincronización adquiere una gran importancia, para conseguirla se utilizan dos convenios de organización de información: modo sincrónico y asíncrónico.

Modo de transmisión sincrónico

El modo de transmisión sincrónico es el que emplea canales separados de reloj, en este modo de transmisión se suprimen las señales intermitentes de arranque y parada que acompañan a cada carácter. Las señales preliminares son llamadas ahora byte de sincronización o banderas, estos bytes son utilizados para notificar al receptor que un mensaje está llegando, estos caracteres proporcionan un patrón, el cual permite al receptor asegurar los caracteres de datos. El reloj de la estación receptora se utiliza para determinar la frecuencia de muestreo de la señal, el reloj va a permitir la sincronización de los dispositivos, cuando se enlacen tanto el transmisor como el receptor.

Modo de transmisión asíncrónico

En este modo de transmisión, cada byte de datos incluye señales de arranque y de parada, o lo que es lo mismo, señales de sincronización al principio y al final. El transmisor puede enviar un byte en cualquier momento y el receptor lo acepta, cada byte o carácter se sincroniza mediante sus propios bits de arranque y parada, estos permiten que el equipo receptor se sincronice con el transmisor. Los bits de arranque y parada no son otra cosa que señales específicas y únicas que el receptor es capaz de reconocer.

La transmisión asincrónica se basa en la existencia de una base de tiempos en el receptor igual a la del transmisor. La sincronización de bit se realiza iniciando el reloj del receptor en el instante en que comienza en bit de arranque.

1.3.- TÉCNICAS DE MODULACIÓN

Para el proceso de comunicación y específicamente en lo referente a la transmisión de información, existen diversos factores que deben considerarse para su transmisión, como son el medio físico, el modo de operación, así como el tipo de comunicación, lo que implica que la información deberá ser modificada de algún modo en su forma, no en su contenido para poder ser transmitida, ya que rara vez las señales de información se encuentran en forma adecuada para poder ser transmitirse. Se denomina modulación a la operación mediante la cual una onda denominada portadora, se modifica en función de otra denominada moduladora, que contiene información para poder ser transmitida. El proceso inverso, que consiste en separar de la señal modulada, la onda que contiene sólo información, se denomina demodulación. La modificación debe hacerse de tal forma que la información no se altere en ninguna parte del proceso.

Clasificación de los métodos de modulación

Se puede clasificar los diferentes tipos de modulación, de acuerdo al tipo de portadora utilizada que puede ser una señal analógica o de tipo digital, como se muestra en la figura 1.1.

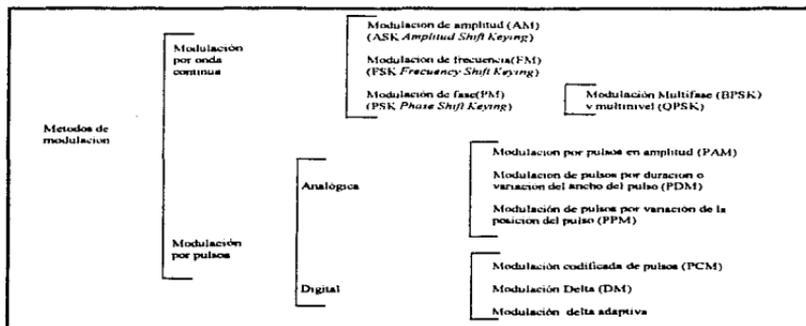


Figura 1.1. Clasificación de los métodos de modulación.

Se denomina modulación por onda continua al proceso por el cual una señal portadora, cuya forma de onda es sinusoidal, modifica su amplitud frecuencia o fase, en función de la señal moduladora, la cual contiene la información a transmitir. Debido a que la forma de la onda portadora es sinusoidal, su ecuación está definida por la ecuación 1.1.

$$p(t) = P \text{ sen } (W_p t + \theta_p) \quad \text{Ec. 1.1}$$

donde:

- P = Amplitud
- Wp = Frecuencia de portadora
- θ_p = Fase

En la expresión anterior de la modulación por onda continua se puede observar que existen tres parámetros que pueden ser variados; de acuerdo al parámetro que se modifique, tendremos tres tipos diferentes de modulación:

Modulación de amplitud

Se denomina modulación de amplitud, aquella en la que el parámetro de la señal senoidal de la portadora que se hace variar, es la amplitud; este tipo de modulación es conocida como modulación AM (*Amplitude Modulation*).

En caso de que la portadora sea modulada por una señal modulante que tiene valores discretos (digital), se denomina modulación por desplazamiento de la amplitud ASK (*Amplitude Shift Keying*).

La modulación en amplitud se puede dividir en dos tipos:

- Por variación del nivel de la onda portadora
- Por supresión de onda portadora

Para el caso de variación del nivel de la onda portadora, es necesario diferenciar, si la moduladora es una señal analógica o una digital. Para el caso de transmitir una señal analógica, en la figura 1.2 se puede observar la señal portadora y moduladora antes y después de ser modulada en amplitud.

Si la información es una señal digital en la figura 1.3 se muestra como se modificará la señal portadora, antes y después de ser modulada. En los dos casos anteriores se observa que la frecuencia y la fase permanecen constantes.

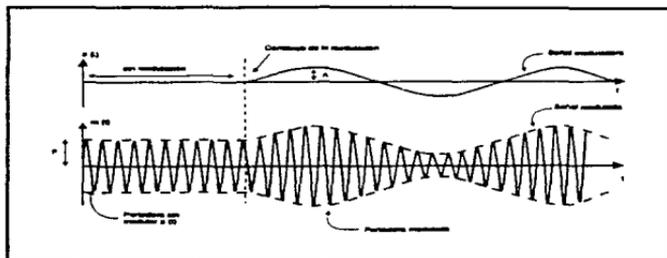


Figura 1.2. Modulación de amplitud por una señal analógica.

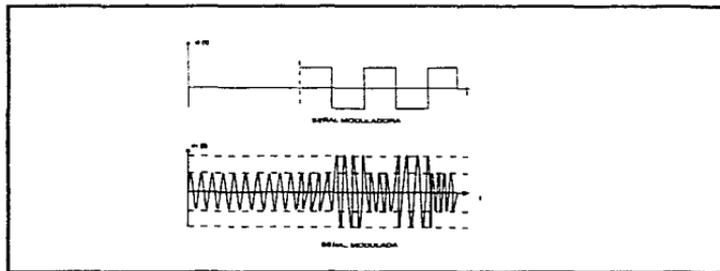


Figura 1.3. Modulación de amplitud utilizando como modulador una señal digital.

En el caso de la modulación por supresión de la onda portadora, los valores de la onda modulada varían entre un valor de amplitud A , para la transmisión del dígito 1 y la supresión de la portadora para la transmisión del dígito 0, en la figura 1.4 se muestra un ejemplo de este tipo de modulación en amplitud.

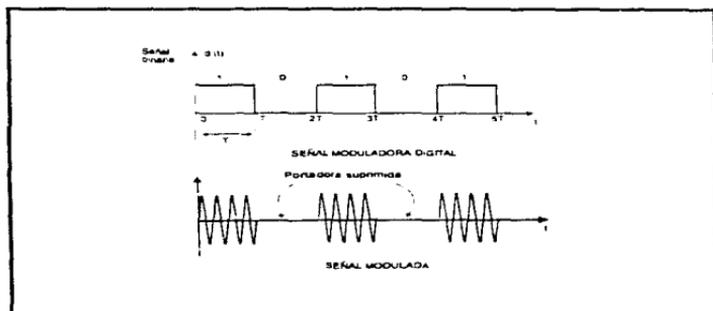


Figura 1.4. Modulación por supresión de la onda portadora.

Modulación de frecuencia

Se denomina modulación de frecuencia FM (*Frequency Modulation*), a aquella en que el parámetro de la señal senoidal de la portadora que se hace variar, es la frecuencia, cuando la señal es de origen analógico, la señal modulada varía su frecuencia dentro de valores continuos. Por el contrario cuando la señal moduladora es de origen digital, la señal modulada tomará un número discreto de valores de la frecuencia, iguales al número de valores, que corresponden a la señal moduladora, este tipo de modulación se conoce como FSK (*Frequency Shift Keying*).

En la figura 1.5 puede observarse una señal moduladora de origen analógico y la modulación de frecuencia, así como sus diferencias con la modulación AM.

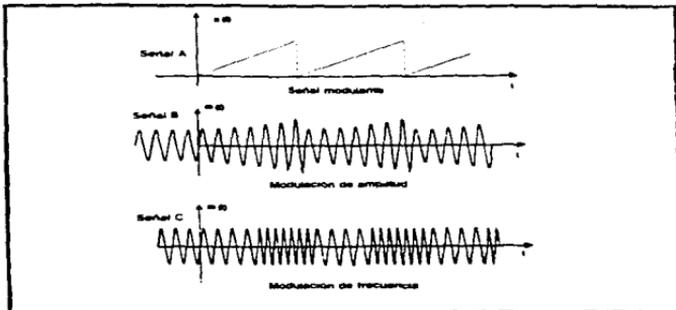


Figura 1.5. Modulación de amplitud y modulación de frecuencia señal modulada de origen analógico.

En la figura 1.6 puede observar una señal moduladora de origen digital y la modulación de frecuencia y sus diferencias con la modulación ASK.

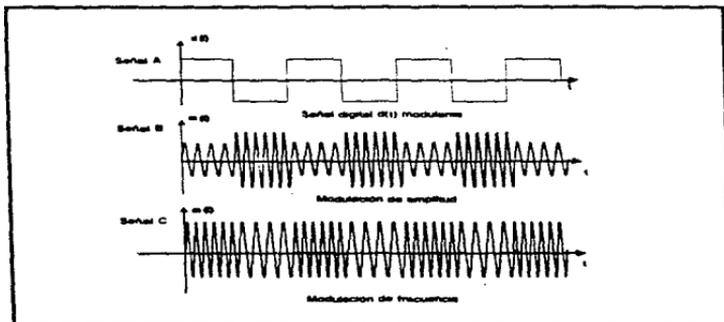


Figura 1.6. Modulación de amplitud y modulación de frecuencia señal modulada de origen digital.

Modulación de fase

Se denomina modulación de fase a aquella en que el parámetro de la señal senoidal de la portadora que se hace variar es la fase. La amplitud de la portadora permanece constante, este tipo de modulación es conocida genéricamente como modulación PM (*Phase Modulation*), cuando se modula señales digitales se denomina PSK (*Phase Shift Keying*). En la figura 1.7 se muestra una señal modulada en fase por una señal modulante digital.

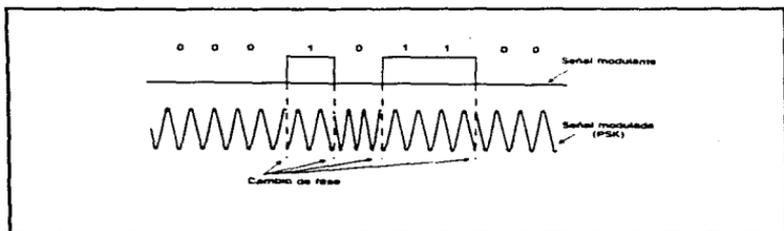


Figura 1.7. Señal modulada en fase por una señal modulante digital.

Dentro de la modulación de fase para señales digitales, estas se pueden clasificar con referencia al número de fases de salida, de la siguiente forma:

- Corrimiento de fase Binario BPSK (*Binary Phase Shift Keying*)
- Corrimiento de fase Cuaternario QPSK (*Quaternary Phase Shift Keying*)

En el corrimiento de fase binario BPSK existen dos fases de salida posibles, una fase de salida representa al 1 lógico y la otra un 0 lógico; dependiendo de como cambie la señal de entrada, la fase de salida de la señal se desplaza entre dos ángulos de 180° de fase, como se observa en la figura 1.8.

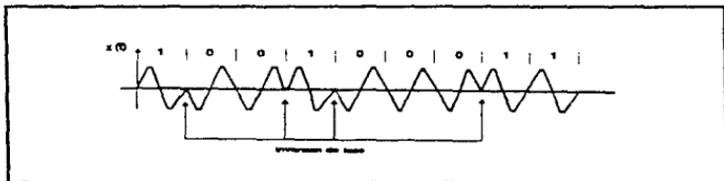


Figura 1.8. Señal BPSK en función del tiempo.

El corrimiento de fase cuaternario QPSK, es otra forma de modulación en ángulo, en este tipo de modulación existen cuatro fases de salida posibles, debido a esta característica deben existir cuatro condiciones de entrada distintas. Debido a que la entrada digital a un modulador QPSK es una señal binaria, es necesario tener una entrada de 2 bits, para tener cuatro posibles condiciones, es por esto que la entrada binaria de datos, es combinada en grupos de 2 bits. En la figura 1.9 se detallan el diagrama vectorial y las fases asignadas.

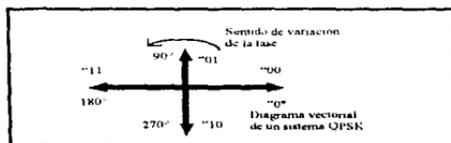


Figura 1.9. Sistema de modulación QPSK.

Modulación por pulsos

Se denomina modulación por pulsos a la modificación por medio de una señal moduladora de una señal portadora constituida por un tren de pulsos. Dicha modulación modifica alguno de los parámetros que caracteriza dicho tren, los parámetros que pueden ser alterados son los siguientes:

- Amplitud
- Duración
- Posición del pulso

La onda portadora es un tren de pulsos, como se muestra en la figura 1.10.

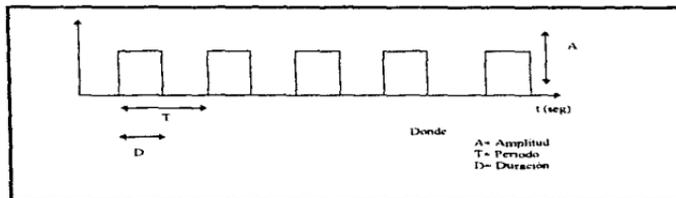


Figura 1.10. Tren de pulsos.

Clasificación de la modulación por pulsos

La modulación por pulsos puede ser clasificada según sea el número de pulsos diferentes que pueden componer la señal modulada, y puede ser analógica o digital.

Modulación de pulsos analógica

La modulación analógica, es aquella en que el tren de pulsos que componen la señal portadora puede ser modificada por la señal modulante, por un número infinito de formas distintas, al ser modulada, y puede ser analógica o digital. Dentro de este tipo de modulación se encuentran los métodos llamados: PAM (*Pulse Amplitude Modulation*), PDM (*Pulse Duration Modulation*) y PPM (*Pulse Position Modulation*).

En la modulación de pulsos en amplitud PAM, la señal de salida aumenta o disminuye su amplitud, siguiendo la forma de la señal analógica moduladora. En este caso, la duración de los pulsos o su ubicación no es alterada por dicha señal. En la modulación de pulsos por variación del ancho del pulso PDM, la señal de salida aumenta o disminuye su duración, siguiendo la forma de la señal analógica moduladora. En este caso la amplitud de los pulsos o su ubicación no es alterada por dicha señal. En el caso de la modulación por pulsos, por modificación de la posición del pulso PPM, la señal de salida se retarda o avanza, en correspondencia con la variación de la señal analógica moduladora.

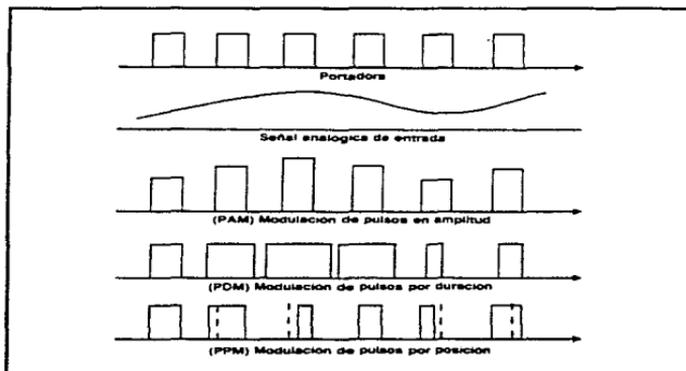


Figura 1.11. Sistemas de modulación por pulsos.

Modulación de pulsos digital

La modulación por pulsos de tipo digital es aquella en que el tren de pulsos que componen la señal portadora, puede ser modificada por la señal modulante, en un número finito de formas diferentes al ser modulada, dentro de este tipo de modulación están los métodos denominados PCM, modulación delta y modulación delta adaptiva.

Modulación de pulsos PCM

Se denomina sistema de modulación por pulsos codificados PCM (*Pulse Coded Modulation*), al método de modulación, que consiste en la transmisión de información analógica en forma de señales digitales, este método involucra la conversión de la señal en digital mediante los procesos de muestreo, cuantificación y codificación. Para explotar las ventajas del muestreo y cuantificación, se requiere el uso de un proceso de codificación, este último consiste en convertir el conjunto de valores discretos obtenidos en el proceso de muestreo y de cuantificación en una señal digital. Esto se logra mediante el empleo de diferentes códigos. Este tipo de modulación se observa en la figura 1.12.

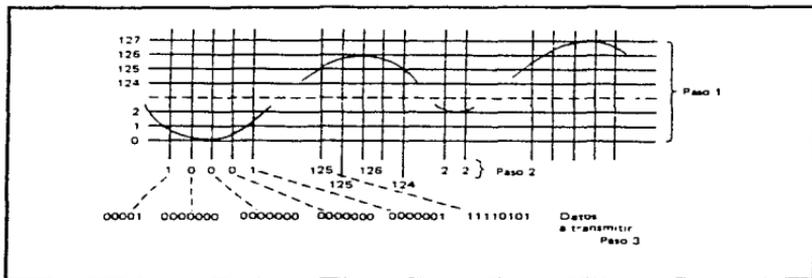


Figura 1.12 Método de modulación por un código de pulsos

Modulación Delta

La modulación Delta DM, consiste en la generación de una onda escalonada que siga las variaciones de la señal de entrada. Para la construcción de la señal escalonada se emplean impulsos que pueden ser de igual polaridad, en cuyo caso crece la señal, o de polaridad contraria con lo cual esta disminuye. En la figura 1.13 se muestra un modulación tipo Delta.

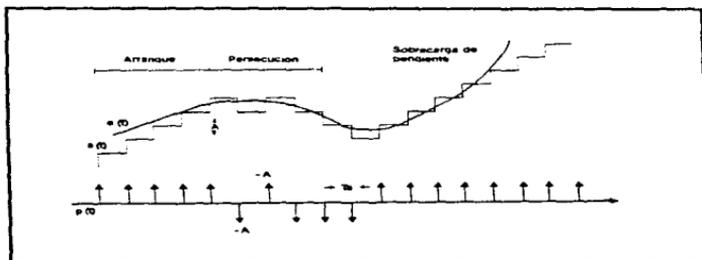


Figura 1.13. Modulación Delta.

En la figura anterior, la señal de salida $s(t)$, se denomina aproximación escalonada de la señal de entrada $e(t)$. La modulación Delta consta de tres características principales, que son el fenómeno de arranque, persecución y sobrecarga de pendiente. El arranque es la secuencia de pulsos de la misma polaridad hasta que la señal $s(t)$ se encuentra con la señal $e(t)$. Cuando la señal $e(t)$ permanece constante y por lo cual $s(t)$ es una secuencia de escalones de polaridad alterna, se genera un fenómeno llamado persecución. Se llama sobrecarga de pendiente al caso en que la diferencia entre $e(t)$ y $s(t)$ resulta mayor que la altura del escalón, con lo cual no se logra una aproximación correcta.

Modulación delta adaptiva

En este sistema soluciona, en gran medida, los dos inconvenientes existentes en la modulación delta; el ruido granular y la sobrecarga de pendiente.

Como ambas distorsiones están originadas en el tamaño del escalón, con la modulación delta adaptiva, se ajusta el valor de éste. Es decir, se lo adapta en función de la variación de la señal de entrada. Este tipo de modulación se muestra en la figura 1.14, donde se observa que la señal escalonada, sigue perfectamente a la señal de entrada $e(t)$. Consecuentemente, cuando $e(t)$ permanece constante o con variaciones pequeñas, el tamaño del escalón es el mínimo posible, por el contrario, cuando la señal $e(t)$ crece bruscamente, el escalón se incrementa hasta alcanzarla.

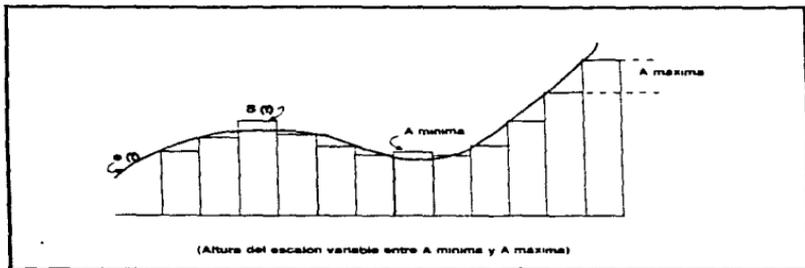


Figura 1.14. Modulación delta adaptiva

1.4.- TÉCNICAS DE MULTIPLEXACIÓN

Debido a la necesidad de enviar muchas veces, varios mensajes simultáneos entre dos puntos, así como la disponibilidad de canales de banda ancha, y la necesidad de circuitos que requieren tanto canales de baja velocidad como también de alta velocidad, surge la idea de multiplexar señales, entendiéndose a ésta, como la técnica que permite que por un único canal físico de comunicaciones, puedan enviarse varias comunicaciones simultáneas, sin que éstas se interfieran entre sí. Los equipos que realizan estas funciones reciben el nombre de multiplexores.

A similitud de los modems que modulan y demodulan según sea que se transmitan o reciban señales, ellos multiplexarán o demultiplexarán, según estén conectados en una u otra parte del circuito de datos.

Técnicas de multiplexación

La técnica de la multiplexación o multiplicación, se emplea para ahorrar costos en el uso de circuitos de transmisión, utilizando los recursos con más eficiencia. De esta forma se pueden transportar varios canales de comunicación en un único circuito de transmisión. Las funciones de multiplexación y demultiplexación se pueden realizar usando tres técnicas básicas, éstas son:

- Multiplexado por división de frecuencia FDM (*Frequency Division Multiplexing*)
- Multiplexado por división de tiempo TDM (*Time Division Multiplexing*)
- Multiplexado estadístico STDM (*Statistical Time Division Multiplexing*)

Multiplexado por división de frecuencia (FDM)

La multiplexación por división de frecuencia es la tecnología más antigua de las mencionadas anteriormente, para la división de uno en varios canales de comunicaciones, a partir de la década de los cuarenta, se introdujo la modulación en frecuencia, que es la más utilizada actualmente.

En este caso, en un subcanal se definen dos frecuencias distintas, una para transmitir el cero binario y otra el uno. En un sistema de multiplexación FDM se dispone en la banda, de una serie de canales adyacentes, lo que permite incorporar en un sistema de transmisión único de banda ancha un gran número de canales de banda estrecha.

En la figura 1.15 se observa como se estructuraría un esquema para cuatro canales, sobre un canal de frecuencia de voz de 3,000 Hz.

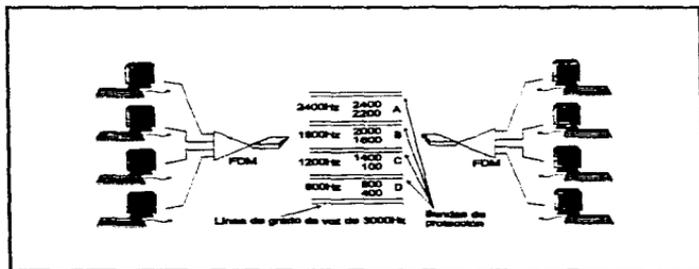


Figura 1.15. División en cuatro subcanales sobre un canal de frecuencia de voz.

Aunque la multiplexación FDM se utiliza ampliamente para las comunicaciones terrenas y también se disponen de frecuencias por encima de los 60 kHz, en las comunicaciones por satélite, siendo éstas las que detallaremos a continuación.

Las comunicaciones por satélite son las que utilizan un satélite en órbita geosincrónica, como punto para lograr la reflexión de las ondas electromagnéticas, generadas por una estación transmisora para enviarla a una receptora, situadas ambas en puntos geográficos distantes generalmente sin alcance visual.

En la estación terrena receptora, la señal FDM se demultiplexa mediante una secuencia de pasos de filtrado y de demodulación de banda lateral única (BLU). Es posible separar con filtros los grupos secundarios (gama de frecuencias de 312 a 552 kHz), los grupos primarios (gama de frecuencias de 60 a 108 kHz) y los canales individuales con una degradación mínima, gracias a las bandas de guarda que se dejan en la señal FDM. Un requisito técnico importante del sistema FDM es el relativo a la exactitud y coherencia de las frecuencias portadoras BLU, que se obtiene usualmente de osciladores maestros estables.

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

En el sistema FDM por satélite, debido a la característica no lineal de la densidad espectral de ruido después de la demodulación, se presenta una disparidad en la calidad de los canales ubicados en la parte alta de la banda de frecuencias con respecto a los de la parte inferior. Para compensar este desequilibrio, en la estación transmisora la modulación en frecuencia se hace a través de una red filtrante, la cual favorece las componentes espectrales de una frecuencia elevada. En la estación receptora las señales telefónicas demoduladas se pasan por una red filtrante que tiene una característica inversa a fin de equalizar los niveles de todos los canales.

Multiplexación por división de tiempo (TDM)

La multiplexación por división en el tiempo consiste en la técnica de dividir el tiempo de transmisión de una secuencia de datos transmitida por un único canal de comunicaciones, en subcanales de comunicaciones independientes entre sí, donde a cada subcanal, se le asigna un segmento de dicho tiempo.

Usando un canal de transmisión se crean "ranuras de tiempo", que el multiplexor adjudica a los subcanales o señales de entrada de una manera determinada; cada uno de dichos subcanales de comunicaciones reciben la señal de datos de un equipo terminal diferentes (A, B, C, etc.), armandose una trama con todos los datos aportados por los diferentes subcanales. El tamaño de cada trama se puede medir en función del tiempo y su dimensión dependerá de la velocidad del canal que se use.

Cada trama de datos después de ser transmitida, se separa nuevamente, para que cada equipo terminal de datos en el otro extremo del enlace (A, B, C, etc.), reciba la señal de datos de su equipo correspondiente.

En la figura 1.16 se muestra un ejemplo de multiplexación TDM.

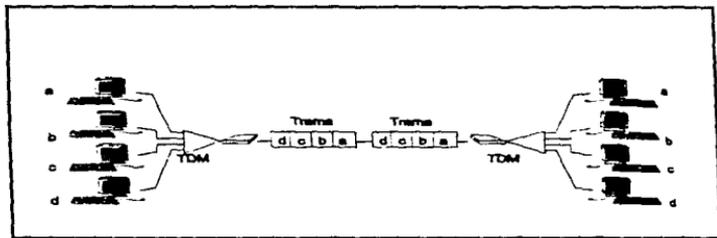


Figura 1.16. Ejemplo de funcionamiento de un multiplexor TDM.

Multiplexado estadístico (STDM)

Los multiplexores estadísticos STDM, son una variante de los multiplexores TDM, que tratan de aprovechar los tiempos muertos de transmisión, de las líneas de comunicación, ya que el multiplexor TDM, desperdicia tiempo de transmisión cuando alguna terminal esta inactiva, debido a que esa parte de la trama queda vacía de información. Este inconveniente es resuelto por los multiplexores estadísticos, dado que en los tiempos libres de transmisión, por inactividad de alguna terminal se envían los caracteres de las otras terminales que se encuentran activos.

1.5.- ARQUITECTURA DE REDES SATELITALES

La necesidad de que varios usuarios pueda comunicarse entre si, y además optimizar los medios instalados para tal propósito ha llevado al concepto de red de telecomunicaciones.

Estas han evolucionado desde formas muy simples diseñadas durante el siglo pasado, para brindar el servicio telegráfico, a redes más complejas, como son las redes que pueden brindar el servicio telefónico conmutado o las actuales instalaciones que permiten una importante y muy variada oferta de servicios de telecomunicaciones. Actualmente, las redes de comunicaciones se encuentran diseñadas aprovechando todas las ventajas que ofrece la tecnología actual, incluyendo a los satélites de telecomunicaciones.

En la actualidad, en el mundo de las comunicaciones y del procesamiento de datos, existen tres tendencias fundamentales, las cuales son:

1. La capacidad de trasladar inteligencia a dispositivos cada vez más pequeños
2. El desarrollo de las comunicaciones entre nuevas clases de dispositivos
3. La necesidad de interconectarse con medios más nuevos de transportadoras comunes.

Por lo que una arquitectura de redes de comunicaciones debe ser vínculo de unión para todos los productos de comunicación de información, tanto existentes como futuros, esto se logra especificando rigurosamente.

- Los conceptos y estructuras lógicas involucrados.
- Las reglas y pautas referentes a la interconexión
- La configuración de red .

Estos tres aspectos, al combinarse de diferentes maneras, especifican un producto en particular. De este modo, la arquitectura de redes asegura que todos los productos de comunicación relacionados trabajen juntos en una forma consistente y compatible

Hay 4 tipos de comunicación dentro de una arquitectura de redes, los cuales se explicarán a continuación:

Punto a punto

En la comunicación punto a punto se tienen sólo dos estaciones que se comunican entre sí (Figura 1.17 a).

Tipo estrella

Este tipo de comunicación se encuentra conformado por una estación maestra y varias estaciones remotas, la comunicación se establece de manera centralizada entre todas las estaciones y la estación maestra (Figura 1.17 b).

Tipo malla

En este tipo de comunicación cada estación se encuentra conectada directamente con las restantes (Figura 1.17 c).

Tipo malla-estrella

Es una combinación de la arquitecturas estrella y malla, la cual está constituida por una estación maestra y varias estaciones remotas, cada estación remota se encuentra comunicada a su vez con dos estaciones remotas adyacentes o cercanas y con la estación maestra (Figura 1.17 d).

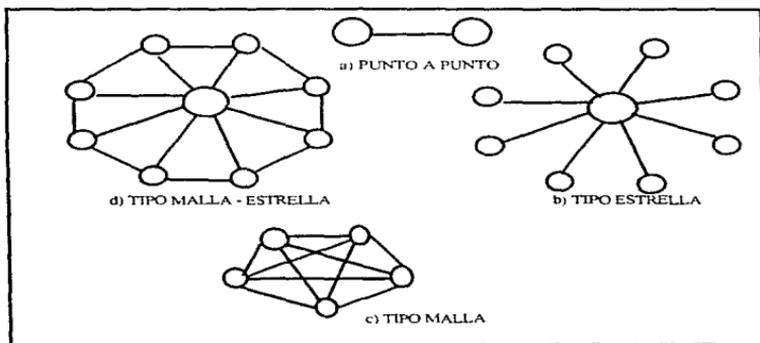


Figura 1.17. Arquitecturas de Redes.

La selección de alguna de estas arquitecturas, dependerá de las necesidades específicas en cuanto al volumen, direccionamiento y tipo de tráfico de información, de cada una de las estaciones terrenas.

El empleo de satélites para el envío de información, es una consecuencia directa de la gran cantidad de información que se genera y que es necesario transmitir a largas distancias, por lo que a continuación se describirán las consideraciones teóricas y los parámetros de una comunicación vía satélite.

1.6.- COMUNICACIÓN VÍA SATELITE

La comunicación por satélite comenzó a desarrollarse a partir de la segunda guerra mundial, con el desarrollo de dos ramas de las ciencias, la Ingeniería en coherencia y la Ingeniería en sistemas de comunicación, principalmente en el área de microondas. En 1945 Arthur C. Clarke, científico británico, concibió la idea de poner en una órbita geosíncrona un satélite para proveer de telecomunicaciones a todo el globo terráqueo. Clarke demostró que tres satélites geosíncronos alimentados con electricidad producida por celdas solares, podrían proveer al mundo entero de comunicaciones eléctricas, para todos los tipos posibles de servicio que se pudieran pedir, con la única restricción de que el manejo de las altas frecuencias es un poco diferente, sin embargo, esta tiene la ventaja de que se pueden enviar un gran número de canales de comunicación, generalmente canales de voz.

Los conceptos de Clarke fueron inadvertidos durante algunos años por los ingenieros en comunicaciones. En 1954 J. R. Pierce de los laboratorios telefónicos Bell, estudió independientemente los fundamentos de la divulgación de señales vía satélite artificial, años antes de que fuese lanzado el satélite Sputnik, preparando concretamente la técnica adecuada para un satélite de comunicaciones. Los satélites de comunicaciones se hicieron realidad cuando se lanzó el Sputnik 1, el cuál transmitió información de telemetría por 21 días

1.6.1 Clasificación de satélites

El uso que se le puede dar a un sistema empleando satélites es muy variado, de aquí que tenemos varios tipos de satélites artificiales que se utilizan con diferente fin. Podemos clasificar y catalogar los sistemas de satélites de diversas maneras, ya sea por sus características técnicas o por su empleo de operación. En la tabla 1.1 se catalogan los satélites en cuanto al tipo de servicios que prestan.

Categoría de los satélites	Internacionales	Domesticos	Militares	Terminales Novicias	Propositos Especiales	Científicos, Experimentales, Meteorológicos
Ejemplos	INTELSAT I INTELSAT II INTELSAT III INTELSAT IV INTELSAT IV A INTELSAT V MOLNIVA STATIONAR SYMPHONIE	ANIK WESTAR SATCOM COMSTAR ARABSAT PALAPA INSAT TELECOM I ECS DOM - SAT Domesticos de Acceso Multiple SDS SIRIO CS DOM-SAT	NATO SKYNET VSCS FLTSATCOM	COMSAT MARECS FLEETSATCOM VOLNA - 7 MARECSA DOM - SAT	OSCAR AERONAUTICAL GOES WEST DOM - SAT ATS CTS	MAROSAT MARISAT AEROSAT

Tabla 1.1. Categorías de los satélites en cuanto al tipo de servicio que prestan.

1.6.2 Principales tipos de satélites

Con base en las categorías anteriores, tabla 1.1, podemos mencionar la función de los principales tipos de satélites que se tienen.

1 - Satélites de comunicaciones

Actúan como repetidores de un determinado tipo de señales radioeléctricas, a fin de establecer un enlace de comunicaciones a muy grandes distancias en un continente o entre continentes.

2 - Satélites domésticos

Se utilizan como repetidores en el envío de señales de televisión, para que de esta manera se pueda cubrir un gran territorio, sin embargo, en un momento dado pueden prestar el servicio con un satélite de comunicaciones

3 - Satélites meteorológicos

Están provistos de equipos destinados a obtener fotografías de la superficie de la tierra desde una altura apropiada, para poder detectar formaciones de nubes o cambios atmosféricos, a la vez estos satélites se utilizan para la detección de plagas, utilizando filtros fotográficos adecuados.

4 - Satélites geodésicos

Son utilizados como referencia en trabajos de triangulación, para la confección y corrección de mapas. Se pueden utilizar óptica o radioeléctricamente.

5 - Satélites de ayuda a la navegación

Sirven de radiofaro para facilitar el cálculo de posición de los navios en altamar o para aviones en vuelo. Se adecuan especialmente para la orientación de submarinos, los cuales mediante receptores de radio adecuados pueden estimar su situación exacta sin necesidad de salir a la superficie. En la actualidad para el cálculo de posición de un navio, se utilizan de tres a cinco satélites, con la finalidad de que el cálculo sea más exacto, si la información es procesada por una computadora dentro del navio, ésta viajara por la ruta más corta y llegará al sitio programado con un mínimo de error.

6 - Satélites militares

Se utilizan con fines específicamente militares, tales como el reconocimiento, detección y observación de lanzamientos de misiles, detección de pruebas nucleares, comunicaciones militares, bombardeos, bombardeo orbital, etc. Generalmente utilizan la banda de 7 a 8 GHz.

7 - Satélites provistos de cápsulas recuperables

Van equipados con cápsulas especialmente diseñadas para la entrada en la atmósfera, a bordo de las cuales es posible recuperar el material o equipos que hayan permanecido en órbita girando en torno a la tierra.

8 - Satélites de investigación científica

Son satélites diseñados específicamente para el desarrollo de planes de investigación y experimentación con fines muy particulares, algunos de estos satélites son también recuperables

1.6.3 Puesta en órbita de un satélite

El problema más fuerte que se tiene para poner un satélite en órbita, es el de superar los obstáculos de origen económico-político. Una vez superados con los argumentos adecuados, se procede a registrar el satélite, con la finalidad de obtener un lugar en el segmento espacial de interés, hay que buscar un lugar adecuado para su ubicación, ya que se encuentra un poco saturado el espacio para situar satélites

Los organismos mundiales a los cuales hay que dirigirse para solicitar información y ubicar un satélite en el espacio son: la Junta Internacional de Registro de Frecuencias (IFRB), por las administraciones Miembros de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones), en virtud de las disposiciones del reglamento de radiocomunicaciones. Para información adicional, es necesario dirigirse a la UIT, en *Pace des Nations, CH1211 Geneve Suiza*

Para lanzar un satélite al espacio es necesario tomar en cuenta su peso y el lugar en que se situará, para poder seleccionar el cohete o vehículo que se utilizara en el lanzamiento.

Para establecer la órbita de un satélite artificial, es necesario conocer cuatro parámetros mínimamente.

- 1 Apogeo - Distancia más lejana del punto de referencia, en este caso la tierra
- 2 Perigeo - Distancia más cercana del punto de referencia
- 3 Periodo orbital - El periodo orbital de un satélite es el tiempo en que este tarda en efectuar una revolución completa. Hay dos maneras de medirlo, uno respecto a la órbita en sí (tiempo invertido en recorrer toda la elipse) o con respecto a una referencia fija en la superficie terrestre (por ejemplo, el tiempo que tarda en cruzar dos veces consecutivas sobre el mismo meridiano). Ambos métodos proporcionan resultados ligeramente discrepantes debido a los diferentes sistemas de referencia adoptados. El primer caso se trata de un sistema de referencia fija (la propia órbita recorrida), en el segundo, es móvil, ya que en el tiempo que dura una revolución del satélite la tierra también ha girado cierto ángulo, arrastrando consigo el meridiano de referencia.
- 4 La inclinación con respecto a un punto de referencia, generalmente el plano del ecuador - La inclinación de la órbita no es otra cosa que el ángulo que forma su plano con el plano del ecuador. Cuando este ángulo es cero, ambos coinciden y se habla de trayectorias polares, puesto que pasa por ambos polos terrestres. A veces, algunos satélites se disparan con inclinaciones superiores a los 90 grados, entonces su movimiento en sentido contrario a la rotación de la Tierra va a aparecer por el oeste y desaparecer por el este. De ellos se dice que siguen trayectorias retrogradadas.

La figura 1.18 muestra dos tipos de órbita, una elíptica y la otra circular, en la elíptica se observa la inclinación del plano orbital de un satélite, la órbita circular corresponde a un satélite geostacionario.

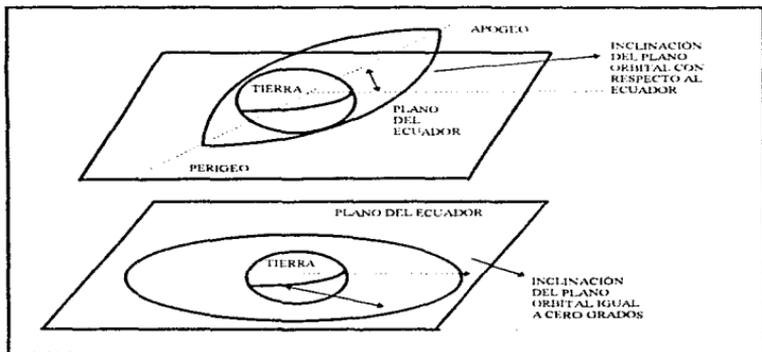


Figura 1.18. Tipos de órbitas.

Para poner un satélite en órbita geosíncrona, es decir, sobre el plano del ecuador y con un periodo orbital de 24 horas, se pone el satélite en una órbita elíptica, que se incrementa en distancia en cada revolución hasta que este lleva una velocidad cercana a los 11,000 kilómetros por hora, en esta etapa se estabiliza el satélite en su órbita elíptica para poder comunicarse con el sistema de telemetría y controlar el satélite.

Esta órbita es medida lo más exacto como sea posible y se ajusta la orientación del satélite en el instante en el que alcanza la altura correcta. El siguiente paso es hacer que el satélite salga de su órbita elíptica y hacer que viaje aproximadamente en un ángulo que coincide con el radio de la tierra, cuando esto se logra, se enciende un motor del satélite, en el instante exacto y durante un tiempo también controlado, siendo de esta manera como se pone un satélite en órbita circular alrededor de la tierra. La velocidad del satélite se ajusta y se sincroniza con la velocidad de la tierra y la altitud es medida con el tiempo que tarda en llegar una señal a las antenas colocadas en distintos puntos sobre la superficie de la tierra, en la dirección correcta.

1.6.4 Distancia y velocidad a la que se encuentra un satélite artificial

Se ha observado en la práctica que un satélite sólo se puede mantener en órbita a una distancia más alta de los 180 kilómetros de altura. A una altura menor el rozamiento con el aire es excesivo, la órbita se hace inestable y el satélite puede que no de una vuelta a la tierra. A una altitud de 200 kilómetros el satélite tiene garantizada una vida de varios días, aunque los residuos de aire presentes a esa altura lo frenarán poco a poco, haciéndole perder paulatinamente su altura. A 500 kilómetros de la superficie terrestre el satélite puede ya durar años, a este tipo de satélite se le conoce como satélite de órbita baja, siendo su periodo de rotación de una hora y media aproximadamente. Se tienen también a 19,200 kilómetros, siendo su periodo de rotación de 5 a 12 horas.

La velocidad que cada satélite tiene cambia de acuerdo con la órbita que éste siga, para órbitas bajas se tiene que los satélites viajan a una velocidad aproximada a los 27,200 kilómetros por hora, para órbitas geosíncronas el satélite viaja a una velocidad aproximada 11,000 kilómetros por hora.

Cuanto más alto vuele el satélite menor será la velocidad requerida para mantener en órbita. En la realidad, el límite de alturas orbitales se alcanza a 180,000 kilómetros sobre la tierra. A partir de este punto, la atracción solar es predominante, y el satélite, en lugar de girar en torno de la tierra, lo hace en torno al Sol. Si en el momento de entrar en órbita terrestre, la componente de velocidad tangencial del satélite es mayor que la mínima requerida, se plantea el caso de una órbita elíptica, y puede decirse que la trayectoria será tanto más alargada cuanto mayor sea el exceso de velocidad adquirido, hasta el caso mayor de convertirse en una parábola de escape.

1.6.5 Consideraciones teóricas

Aquí se tratarán los puntos teóricos de mayor interés que están íntimamente relacionados con la transmisión de información mediante satélites, estos puntos están relacionados con los factores que afectan a la señal de información, en el enlace tierra-satélite y satélite-tierra.

Definiciones teóricas

Se describirá a continuación brevemente los principales elementos, subsistemas y parámetros de transmisión involucrados.

Transponder

En el enlace terrestre de microondas se utilizan repetidores los cuales utilizan una frecuencia para transmisión y reciben con otra, o bien, utilizan la misma frecuencia recibiendo la información con un tipo de polarización y transmitiéndola en la misma frecuencia pero con otra polarización. Los satélites utilizan diferentes frecuencias para recibir y transmitir, de otra manera la potencia de la señal transmitida podría interferir con la de la señal a recibir.

El equipo que se utiliza para recibir una señal, amplificarla, cambiarla de frecuencia y retransmitirla, es llamado transponder, o transmisor-responder.

Las frecuencias usadas en un enlace de satélite son referidas con frases tales como 4/6 GHz, 12/14 GHz ó 20/30 GHz, etc. El primer número en cada caso se refiere a la frecuencia que se utiliza en el enlace del satélite a la estación terrena, y el segundo número se refiere a la frecuencia del enlace entre la estación terrena y el satélite.

El ancho de banda que puede manejar el satélite es de 500 MHz, en este ancho de banda caben 24 canales de televisión con un ancho de banda de 36 MHz cada uno, siendo modulados en frecuencias. A cada ancho de banda que ocupa un canal de T. V. modulado en frecuencia se le conoce como un transponder, por lo que un satélite puede manejar 24 transpondedores. Todos los canales pares se mandan con un tipo de polarización, puede ser este horizontal, y los canales impares se envían con una polarización vertical, por referirnos a algún tipo de polarización.

Cabe señalar que un transponder puede dar cabida al manejo de 960 conversiones telefónicas simultáneas, que son las que ocupan un canal de T. V. en un enlace por satélite.

A continuación se mencionaran algunos parámetros que deben ser considerados en el diseño de nuestra red.

Potencia isotrópica radiada equivalente (PIRE)

La potencia isotrópica radiada equivalente (PIRE) es empleada como una medida de la potencia de transmisión, ya sea del satélite o de la estación terrena, en la cual se multiplica la potencia del transmisor por la ganancia de la antena. Es decir que es la potencia efectiva saliente del transductor de antena hacia el espacio libre, dada por las fórmulas 1.1a y 1.1b

$$\text{PIRE} = P_t G_t \text{ (Watts)} \quad \text{Fórmula 1.1a.}$$

$$\text{PIRE} = P_t + G_t \text{ (dBW)} \quad \text{Fórmula 1.1b.}$$

donde:

P_t = Potencia de salida del transmisor

G_t = Ganancia de antena en razón de potencia bajo condiciones de transmisión.

1.1a Está expresada en Watts.

1.1b Está expresada en decibeles.

Al calcular la PIRE habrá que considerar que la potencia entregada por el sistema de transmisión es reducida por elementos pasivos, como son las guías de onda, combinadores, alimentadores, etc. La estabilidad de la PIRE en dirección al satélite, debe ser de ± 0.5 dB con respecto al valor normal, a no ser que existan pésimas condiciones atmosféricas, con la finalidad de obtener la máxima eficiencia del sistema y no caer en errores. Este valor de estabilidad incluye todos los factores que puedan causar desviaciones de la PIRE, variaciones de potencia en el transmisor de radiofrecuencia, inestabilidad de la ganancia de la antena, error de orientación del haz, etc.

Densidad de Potencia

Las ondas electromagnéticas representan el flujo de energía en la dirección de propagación. La proporción en la cual la energía cruza por una superficie dada, en el espacio libre, se llama densidad de potencia. Por lo tanto, la densidad de potencia es energía por unidad de tiempo por unidad de área, y normalmente se da en Watts por metro cuadrado.

Relación Señal a Ruido (C/N)

La calidad de transmisión del enlace radioeléctrico está determinado por diferentes parámetros, pero puede representarse en una forma general por la relación existente entre la portadora de la información recibida y la potencia de ruido que se presenta en el ancho de banda ocupado por la portadora modulada. Es decir, que esta relación nos dirá que tantas veces es mayor la potencia que se tiene en la portadora de la señal de información, con respecto a la potencia de ruido presente en la transmisión.

La relación señal a ruido nos sirve como una medida de la cantidad de información que puede ser transmitida por unidad de ancho de banda utilizado. Como sabemos, una característica de las comunicaciones espaciales es la gran atenuación que la señal tiene. Esta señal puede ser siempre amplificadas para compensar esta atenuación, pero ésta no es una medida efectiva del enlace

Temperatura de ruido

La temperatura de ruido en los equipos receptores utilizados, tanto en las estaciones terrenas como en el satélite, es originada por la estructura de la antena así como por la electrónica utilizada en los equipos de comunicación

Las primeras estaciones terrenas usaron preamplificadores enfriados para reducir la temperatura de ruido. Actualmente con satélites más potentes, se puede usar equipo más compacto teniendo tanto una antena más pequeña como una temperatura menor.

La potencia del ruido es usualmente expresada en términos de su temperatura de ruido o más conocida como temperatura equivalente del ruido. Por lo que la temperatura equivalente del ruido de cualquier fuente de ruido, es la temperatura requerida que produce la misma potencia del ruido en el ancho de banda en consideración, o rango de frecuencias.

Si todo el equipo electrónico que utilizamos fuese perfectamente aislado de interferencias externas, entonces sólo tendríamos el ruido causado por el movimiento aleatorio de los electrones, a este tipo de ruido se le conoce como ruido térmico, este tipo de ruido está presente en todos los procesos electrónicos. El incremento de la temperatura produce un aumento en el movimiento de los electrones y hace que se eleve la potencia del ruido térmico.

Figura de mérito (G/T)

Normalmente se acostumbra calificar la calidad de un sistema no mediante su ganancia, sino como una relación de la ganancia del sistema a la temperatura de ruido del mismo. La figura de mérito nos indicará la capacidad relativa del subsistema de recepción para recibir una señal. Ya que la señal que se recibe, ya sea en la tierra o en el satélite, es muy débil, y es importante que la antena receptora y el equipo electrónico asociado a esta, introduzca la mínima cantidad de ruido como sea posible.

Factor de calidad

El factor de calidad de un enlace por satélite está dado por el valor del PIRE más el valor de la figura de mérito.

Ganancia de una antena

La ganancia de cualquier antena es la habilidad de poder concentrar la potencia radiada en una dirección, y se define como la relación de la potencia radiada por una antena isotrópica (antena ideal) a la potencia radiada por la antena en consideración cuando ambas antenas producen la misma intensidad de campo en la dirección en que se desea especificar la ganancia.

Atenuación por dispersión

La atenuación por dispersión consiste básicamente en la disminución que sufre la señal emitida, al viajar una gran distancia, en una región sin obstáculos y bajo las condiciones de una atmósfera normal.

Atenuación por absorción atmosférica

En adición a la atenuación inherente a las grandes distancias del espacio libre, es decir, la atenuación por dispersión, la atmósfera terrestre también causa atenuaciones en la propagación de las señales.

La atenuación debida a la absorción atmosférica es causada básicamente por seis factores, estos son los siguientes:

a) Atenuación debido al oxígeno molecular

Las ondas que se propagan a través de la troposfera son afectadas por todos los componentes gaseosos de la atmósfera, principalmente por el oxígeno molecular. Los componentes gaseosos de la atmósfera influyen en la propagación de las ondas radioeléctricas tanto por la absorción de energía como por las variaciones del índice de refracción que originan la reflexión, la refracción y la distorsión de las ondas.

b) Atenuación debido al vapor de agua sin condensar

La Atenuación producida por vapor de agua tiene importancia a frecuencias mayores de 10 GHz, la absorción por las moléculas del agua con las que está formado el vapor de agua, producen una alta atenuación aproximadamente en 21 GHz.

c) Atenuación debida a los electrones libres

Se sabe que existen electrones libres en la atmósfera terrestre y que las ondas electromagnéticas chocan con ellos, esto causa absorción porque la energía radiada es transferida a los electrones libres.

d) Atenuación causada por la lluvia, nieve o granizo

Las atenuaciones discutidas anteriormente son relativamente constantes y predecibles. La atenuación causadas por la lluvia y niebla varían grandemente. Esta atenuación es la que nos interesa sobre todo en el rango de frecuencias que se utilizan para los enlaces por satélite. A las frecuencias que están por debajo de 10 GHz, que se utilizan para los enlaces por satélite doméstico (4/6 GHz) que se ven muy poco afectados. La atenuación por la lluvia, nieve o granizo es el obstáculo fundamental que se ha encontrado en el diseño de sistemas de comunicación por satélite que utilizan frecuencias mayores de 10 GHz. La lluvia, nieve o granizo produce también otro tipo de degradaciones en la señal, tales como la despolarización, interferencia, incremento en el ruido de la estación terrena y la deteriorización de la antena receptora. Por ejemplo, la visibilidad cuando hay lluvia, nieve o granizo no es la misma que cuando hay niebla, el contenido de agua líquida es considerablemente menor en la niebla que en la lluvia, nieve o granizo, sin embargo la atenuación causada por niebla es mucho mayor que la causada por la lluvia, nieve o granizo.

e) Atenuación causada por la niebla y las nubes

Esta atenuación es mayor que la causada por la lluvia, debido a que la distribución de las moléculas del agua se hayan más dispersas y crean una barrera mayor. El comportamiento de la atenuación por nubes y niebla es casi lineal y tiene mayor importancia para frecuencias mayores de 10 GHz.

f) Atenuación en el equipo y guías de onda

La atenuación provocada por las guías de onda y el equipo anexo, como son multiplexores, filtros, circuladores, mezcladores, acopladores direccionales, etc., es una atenuación relativamente pequeña comparada con los otros tipos de atenuación, sin embargo se menciona para no olvidar que existe y que se debe de tomar en cuenta cuando la señal a tratar es muy débil. Estas atenuaciones generalmente las da el fabricante del equipo y guía de onda, y son casi siempre menores de un decibel, para cada elemento.

Ruido

El término ruido se utiliza para nombrar a las señales de tipo aleatorio que están presentes en todos los sistemas de comunicación y que interfieren con la señal de información alterándola. El ruido en un sistema de comunicaciones es imposible de eliminar ya que la principal fuente de éste es la temperatura, que se manifiesta por un movimiento aleatorio de los electrones originando una corriente aleatoria, si ésta ocurre en un medio conductor se producirá un voltaje aleatorio que es conocido como ruido térmico. En consecuencia, no podemos tener una comunicación eléctrica sin electrones u ondas electromagnéticas tampoco podemos tener comunicación eléctrica sin ruido.

Amplificadores de microondas con bajo ruido

En todos los sistemas de comunicaciones, un parámetro importante es el nivel de señal que llega en el extremo receptor. En el caso de los sistemas de microondas, empleados en los sistemas de transmisión de señales mediante satélite, el nivel de la señal que llega al extremo receptor es de unos cuantos picowatts debido a la gran atenuación que sufre en el trayecto. Es necesario en este caso utilizar en el extremo receptor amplificadores de microondas que tengan una baja cantidad de ruido. Es importante que tengan una baja temperatura de ruido para que la señal de información a procesar no se confunda con el ruido generado en el receptor.

1.7.- ESTACIONES TERRENAS

Todo satélite en una red de comunicaciones sólo sirve como un punto intermedio de la red de la que forma parte, por lo que es complementada con las estaciones terrenas que se comunican a través del satélite. Una estación terrena está compuesta de varios elementos y equipos interconectados entre sí. El término estación terrena se emplea indistintamente para indicar todo el equipo terminal que se comunica con el satélite desde la Tierra, sin importar si esta fija o móvil en algún punto. En la figura 1.19 se muestra el diagrama de bloques general de una estación terrena, pero dependiendo de su aplicación en particular puede ser mucho más sencilla y carecer de algunos bloques de los indicados.

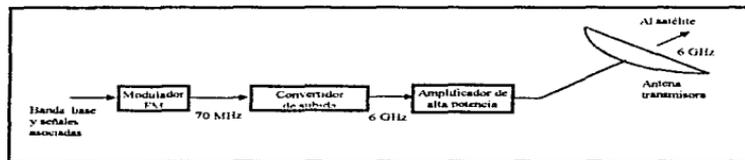


Figura 1.19. Diagrama a bloques simplificado de la estación terrena transmisora.

Por lo general, en una estación terrena la misma antena se utiliza tanto para transmitir como para recibir, si es que la aplicación así lo requiere, por lo que los bloques de transmisión y recepción están interconectados entre sí simultáneamente por medio de un dispositivo llamado diplexor.

Antena

Una antena es un dispositivo destinado a la radiación o a la captación de ondas electromagnéticas, cuyas características más importantes son la ganancia y el patrón de radiación. La ganancia es la capacidad de la antena para amplificar las señales que transmite o recibe en cierta dirección, por lo tanto, siempre se desea tener la mayor ganancia posible en la dirección en la que llegan las señales que se quieren recibir, o en la dirección en la que se va a transmitir; la ganancia de una antena depende de varios factores, entre ellos el diámetro de la antena, su concavidad, la rugosidad de la superficie, el tipo de alimentador con que es iluminada, así como la posición y orientación geométrica. Entre mayor es el diámetro de una antena parabólica, mayor es su ganancia, su haz de lóbulo principal de radiación es más angosto, y los lóbulos secundarios se reducen.

Una antena tiene la propiedad de reflejar las señales que llegan a ella y concentrarlas en punto común llamado foco (recepción), asimismo, si las señales provienen del foco, las refleja y las concentra en un haz muy angosto de radiación (transmisión). Este foco coincide con el foco geométrico del paraboloide de revolución que representa matemáticamente a la antena y en él se coloca el alimentador, que por lo general es una antena de corneta, el tipo de alimentador define la ganancia final de la antena y las características de sus lóbulos. Los diferentes tipos de antena se pueden clasificar de acuerdo al tipo de alimentación que tienen:

- Antena de alimentación frontal
- Antena de offset
- Antena Cassegrain

Antena de alimentación frontal En una antena de alimentación frontal (ver figura 1.20), el eje del alimentador o corneta coincide con el eje de la antena, y la apertura por la que radia esta orientada hacia el suelo; esta última característica presenta el inconveniente de que la energía radiada por el alimentador que se desperdicia por desborde, se refleja parcialmente al tocar el suelo y puede degradar la calidad de la señal transmitida. Asimismo si la antena está recibiendo señales del satélite, los rayos que incidan sobre el piso cerca de la antena se reflejan hacia el alimentador, y pueden causar una degradación en la calidad de la señal recibida, algunas deficiencias de esta antena se pueden corregir aumentando el diámetro de la antena para reducir el desborde de la radiación del alimentador o bien utilizar un alimentador de mayor directividad que es más difícil de fabricar y requiere de mayores dimensiones, lo que significaría una antena demasiado voluminosa además de que el alimentador y sus soportes bloquean más el paso libre de señales con la correspondiente degradación de las mismas. A pesar de tales desventajas, incluyendo la del montaje del equipo electrónico inmediatamente detrás del alimentador, esta antena resulta económica y fácil de construir.

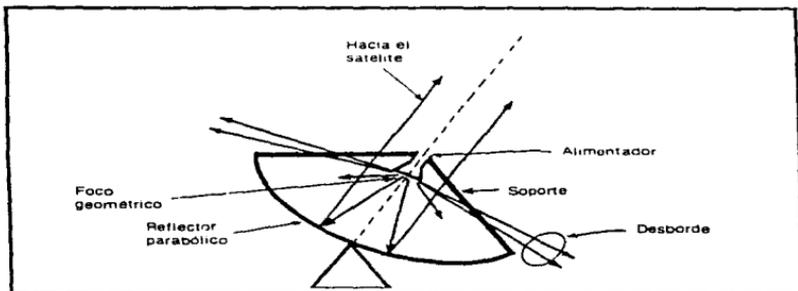


Figura 1.20. Antena parabólica con alimentación frontal (modo transmisión).

Antena de *offset* : La antena de *offset* (ver figura 1.21) es una variante de la antena con alimentación frontal, en la cual el bloqueo del alimentador, el equipo electrónico y la estructura de soporte se elimina ya que el alimentador no coincide con el eje de la antena, en este caso, sólo se emplea una sección del plato parabólico y la apertura del alimentador se gira para que apunte hacia ella, es decir los ejes del alimentador y del paraboloide no coinciden, un inconveniente de este tipo es que la construcción de la estructura reflectora y de soporte es más costosa, además de que en este tipo de antena se presenta desbordamiento por las orillas de la superficie parabólica.

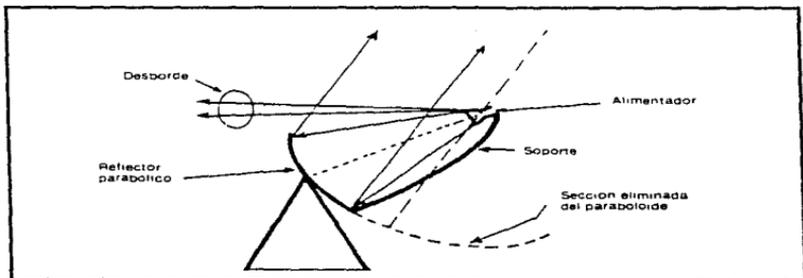


Figura 1.21. Antena de *offset* (modo de transmisión).

Antena Cassegrain: La configuración geométrica de la antena Cassegrain (figura 1.22) involucra a un segundo reflector con superficie hiperbólica, llamado "subreflector", y el alimentador o corneta ya no tiene su apertura orientada hacia el piso, sino hacia arriba, por lo que el ruido que se introduce en las señales ya no es generado por reflexiones en la tierra sino principalmente por emisiones de la atmósfera. Los ejes de la parábola, la hiperbola y el alimentador coinciden, y el diseño es equivalente a tener una antena imaginaria menos cóncava y con un alimentador más alejado de su vértice; de esta forma, la antena captura mejor la energía radiada por la corneta y el desborde se reduce significativamente; además, con el diseño Cassegrain se tiene la ventaja de que el equipo electrónico se puede colocar sin problemas en una pequeña cabina inmediatamente detrás del alimentador, reduciéndose así todo tipo de pérdidas por cableado. Por las características descritas, este tipo de antena es mucho más eficiente que la antena de alimentador frontal y la de *offset*, la ganancia es mayor.

La antena Cassegrain es utilizada en la mayor parte de las estaciones terrenas transmisoras y receptoras de televisión, así como en todas las que transmiten y reciben cantidades muy grandes de telefonía y datos.

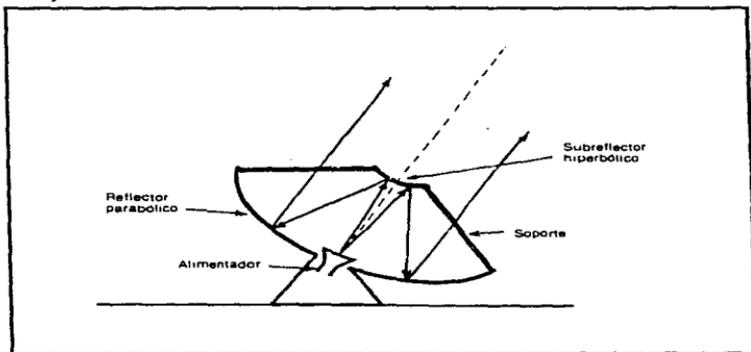


Figura 1.22. Antena Cassegrain con alimentador frontal (modo transmisión).

La antena es uno de los sistemas más importantes de la estación terrena, porque suministra un medio de transmisión de la portadora de radiofrecuencia modulada al satélite, a una frecuencia de enlace ascendente, y recibe la portadora de radiofrecuencia desde el satélite con una frecuencia descendente.

El transmisor

Las estaciones terrenas transmisoras sencillas cuentan con un sólo bloque de transmisión y los que conducen una gran cantidad y diversidad de señales tienen varios bloques en paralelo. El equipo transmisor consiste básicamente de tres módulos:

- 1) Modulador
- 2) Convertidor
- 3) Amplificador de alta potencia

Después que una señal ha sido generada o producida, y una vez efectuado el proceso de modulación y multiplexada en frecuencia o en el tiempo, se requiere acondicionarla para que pueda ser radiada efectivamente a través de aire hacia el satélite, sin que sea interferida o interfiera con otras señales; este acondicionamiento permite que se recupere la señal fielmente en la estación receptora, aunque su nivel de potencia sea muy bajo al llegar. El proceso electrónico que se efectúa para este fin es la modulación de una portadora por señal, y existen varios tipos de la misma, las más comunes son la analógica de modulación en frecuencia o FM y el digital de desplazamiento de fase o PSK.

1) El modulador

El modulador de la estación 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 transferida a frecuencias más altas; este paso de la señal modulada a frecuencias intermedias es el primero en su ascenso de conversión a microondas.

A la salida de el modulador las señales se encuentran en una región más alta del espectro radioeléctrico, la frecuencia intermedia no es aún adecuada para radiarla efectivamente a la atmósfera, por lo que es necesario elevarla a otra frecuencia.

2) El convertidor

El convertidor elevador transfiere la señal de frecuencia intermedia (70 MHz a 1 GHz) a una frecuencia mucho más alta, para poder radiarla efectivamente a la atmósfera, aun con esta frecuencia, el nivel de potencia es muy bajo, por lo que es necesario amplificarla; esta amplificación se realiza en el amplificador de alta potencia ó HPA, del cual existen fundamentalmente dos tipos: el tubo de ondas progresivas TWT y el Klistron.

En algunas ocasiones la potencia que va a transmitirse es tan poca o tan baja que no es necesario usar amplificadores tan potentes como el TWT o el Klistron, por lo que se utilizan amplificadores de baja potencia ó SSPA (*Solid State Power Amplifier*) hechos con tecnología de estado sólido. Su potencia de salida es de unos cuantos Watts y la mayoría funciona con transistores de efecto de campo (FETS).

3) Amplificador de alta potencia (HPA *High Power Amplifier*)

Uno de los amplificadores mas ampliamente usado es el TWT (*Traveling Wave Tube*) mostrado en la siguiente figura 1.23

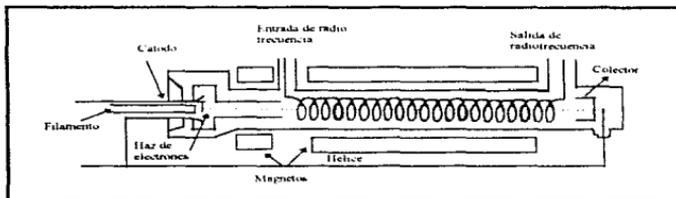


Figura 1.23. Amplificador TWT.

El TWT emplea el principio de modulación de velocidad en la forma de ondas guiadas. La señal de radiofrecuencia es amplificada al viajar por la estructura llamada helix. Los electrones que son emitidos por el cátodo son concentrados a lo largo del eje del helix por el cilindro magnético y recogidos al final por el colector después de haber liberado su energía al campo de radiofrecuencia. El helix baja la velocidad de propagación de la señal de radiofrecuencia (velocidad de la luz) a la de el haz electrónico, el cual es controlado por un voltaje de DC en el cátodo. Este resultado es una interacción entre el campo eléctrico inducido por la señal de radiofrecuencia y los electrones, los cuales transfieren energía a la señal por la que ésta se ve amplificada, la amplificación aumenta conforme la señal viaja a través del tubo.

Debido a que es posible perder todo el enlace de comunicaciones si el amplificador llegase a fallar, es común encontrar sistemas donde hay amplificadores de redundancia.

Generalmente el nivel de potencia a la salida del convertidor elevador es muy bajo en comparación con el que debe aplicarse a la entrada del amplificador de potencia para que éste funcione adecuadamente, es común añadir un amplificador excitador entre el convertidor de frecuencia y el amplificador de potencia, como una etapa de amplificación a niveles de potencia intermedia.

Cabe señalar que para poder hacer la adquisición de un amplificador de potencia se debe considerar el posible crecimiento del tráfico de la estación terrena. La tabla 1.2 muestra las características de los HPA disponibles en el mercado.

	BANDA C		BANDA Ku	
	Ancho de banda	Potencia de salida (Watts)	Ancho de banda (MHz)	Potencia de salida (Watts)
TWT	500	50-10000	500	50-3000
Klistron	40/80	400-5000	100	1500-2000
Edo. sólido (FET)	500	5-50	500	1-6

Tabla 1.2. Características de los HPA disponibles en el mercado.

El receptor

La antena recibe señales provenientes del satélite y a través del diplexor se las entrega a un amplificador de bajo ruido, debido a que la señal que se ha recibido tiene una baja intensidad y es muy sensible a cualquier señal de ruido que se pueda añadir antes de ser amplificada a un nivel aceptable. La antena y el amplificador de bajo nivel de ruido son los elementos más importantes de una estación terrena receptora y juntos definen su calidad de operación. La ganancia de recepción (G) de una antena es el parámetro más importante. Por lo que respecta al amplificador de bajo ruido (T), tiene en la temperatura de ruido su parámetro más importante y mientras éste sea muy bajo será mejor, ya que el ruido que se añade a la señal es menor y la calidad de recepción aumenta, pero también a través de la antena se infiltra ruido por lo que la magnitud de éste se calcula en función de la temperatura de ruido de la antena, la suma de la temperatura de ruido de la antena y la del amplificador determinan casi completamente la temperatura total del sistema de recepción.

La relación G/T se utiliza comúnmente para definir las cualidades de recepción de una estación terrena. Esta relación se conoce como factor de calidad cuyas unidades son dB/K.

A la salida del amplificador de bajo ruido van conectadas en cadena un convertidor reductor de frecuencia y un demodulador. La salida del amplificador se conecta al convertidor de frecuencia que transfiere toda la información de la frecuencia de recepción a una frecuencia intermedia de recepción. Esta reducción de frecuencia puede hacerse de un sólo paso, bajando la frecuencia de llegada a la antena hasta la frecuencia intermedia que se le debe entregar al demodulador.

La señal que sale del convertidor reductor de frecuencias aún está modulada y el paso siguiente es demodularla para obtener la señal original. Realmente no es posible obtener una señal idéntica a la que fue transmitida, ya que diversos factores se encargan de distorsionarla. Por ejemplo la lluvia, la nieve, la contaminación, etc.

Por lo que podemos decir que el demodulador es un bloque muy importante ya que es el que determina la calidad final del enlace. En la figura 1.24 se muestra una configuración típica de un enlace por satélite.

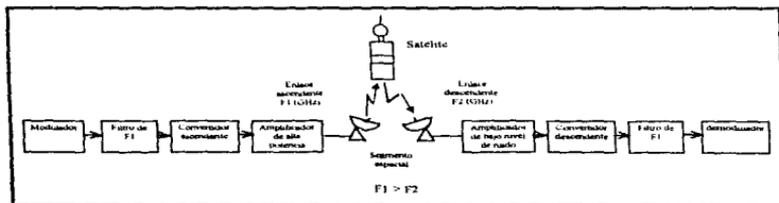


Figura 1.24. Configuración típica de un enlace por satélite.

Hasta este punto hemos analizado las herramientas teóricas en que se basan las diferentes formas de transmisión de información, así como la estructura que habrá de adoptar ésta para emplear los diversos medios existentes, también las características generales de la tecnología empleada para este fin.

**DESCRIPCIÓN
DEL SATÉLITE
SOLIDARIDAD I**

En el presente capítulo se dará la descripción general del satélite Solidaridad 1, así como las características de operación del satélite en las bandas C, Ku y L y se mencionarán sus regiones de cobertura. También se hablará de las diferentes técnicas de acceso múltiple existentes.

2.1 ANTECEDENTES

Sistema de satélites Solidaridad

El sistema de satélites Solidaridad se compone de dos naves espaciales, de estabilización por tres ejes (X, Y, Z) y modelo HS-601 de la compañía *Hughes Aircraft* (figura 2.1), con una vida útil de 14 años; el Solidaridad 1 ocupa la posición orbital 109.2° W, en tanto el Solidaridad 2 ocupa una posición cercana a la que fue utilizada por Morelos I, 113.0° W (figura 2.2); ambos satélites cuentan con carga útil en las bandas C, Ku y L.

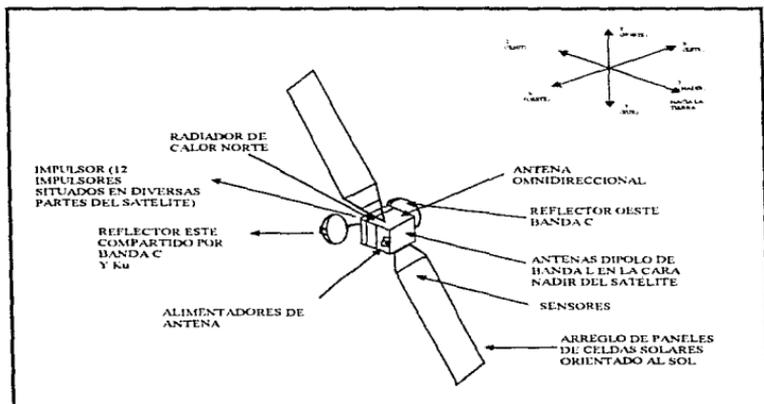


Figura 2.1. Solidaridad HS-601.

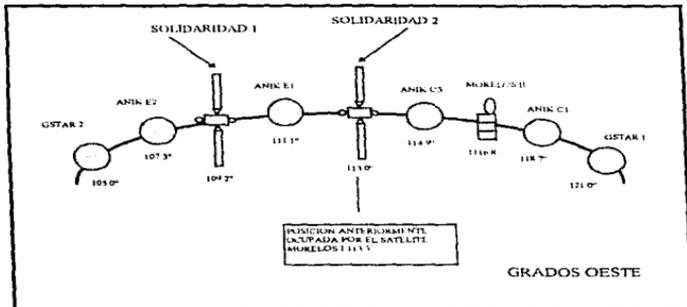


Figura 2.2. Posiciones de los satélites.

Como parte integral del sistema Solidaridad, se efectuó la ampliación del centro de control primario (ubicado en Iztapalapa, D. F.) con un simulador dinámico de los satélites Morelos y Solidaridad, un laboratorio de pruebas de comunicaciones y la ampliación del actual sistema de monitoreo del centro de control, así como la construcción de un centro de control alternativo, en la ciudad de Hermosillo, Sonora, que es un respaldo del primario; así mismo el proveedor cumplió con un amplio programa de capacitación y asistencia técnica y un programa de transferencia tecnológica.

Como ya se ha mencionado, los satélites operan en las bandas C, Ku y L:

La banda C tiene un total de 12 transpondedores de 36 MHz y 6 de 72 MHz, operando en polarización vertical y horizontal.

La banda Ku ha sido completamente rediseñada, con mayor capacidad en ancho de banda debido al reuso de frecuencias, operando en polarización vertical/horizontal y horizontal/vertical, teniendo un total de 16 transpondedores de 54 MHz. La reducción en el ancho de banda de los transpondedores permitirá hacer un uso más eficiente del recurso ancho de banda/potencia.

La banda L es la tercer banda en la que operan los satélites Solidaridad, esta banda es utilizada para comunicaciones móviles por satélite, el sistema Solidaridad utiliza la polarización circular derecha. La polarización de una señal electromagnética está asociada a la dirección de su campo eléctrico; en el caso de la polarización circular derecha el vector de campo eléctrico describe a una circunferencia mientras gira al rededor de un punto en el sentido de las manecillas del reloj. El rango de operación será de 1525-1559 MHz para enlace descendente y de 1626.5-1660.5 MHz para enlace ascendente.

2.2- CARACTERÍSTICAS DE LOS SATÉLITES

Estructura básica de las naves espaciales

Los elementos que integran a las naves espaciales son: los paneles solares, las baterías, el sistema de antenas, de control de orientación y procesador abordo las cuales se describen a continuación, así como una descripción del control y monitoreo de los satélites.

Los paneles solares

Los arreglos de paneles solares están localizados en el lado norte (-Y) y sur (+Y) del cuerpo del satélite y están compuestos de tres paneles solares cada uno, el arreglo en total contiene 56 circuitos de celdas solares de silicón K4-3/4, produciendo aproximadamente 4 kW de potencia para alimentar los diferentes subsistemas hasta el final de la vida útil del satélite.

Baterías

Dentro del subsistema de potencia están comprendidas las baterías, alojadas en las cuatro esquinas de la superficie más lejana del cuerpo del satélite con respecto a la tierra (el cenit 0-Z), construidas a base de celdas de níquel-hidrógeno, agrupadas en 1 paquete de 6 celdas y 3 paquetes de 7 celdas, en donde el componente activo solamente es el electrodo positivo, lo que redundará en la prolongación de la vida útil de las celdas. Cada paquete de baterías está diseñado en su parte N-S con capacitores y disipador a base de espejos, los cuales proveen el control térmico para las baterías independientemente del sistema de control de temperatura.

El arreglo de batería tiene una capacidad de 160 A-h; el voltaje medio durante un eclipse es de 33.5 Volts, al término de éste el subsistema de control de potencia efectúa un control automático de la carga de las baterías.

Sistema de antena

El sistema de antena lo conforman dos reflectores X-wing, los cuales usan dos superficies de reflectores intersectadas que permiten el aislamiento de las polarizaciones utilizadas sin afectar su rendimiento, montados al Este y Oeste del cuerpo del satélite y un arreglo de dipolos de copa para la banda L montada en el nadir del cuerpo del satélite.

Sistema de control de orientación

El sistema de control de orientación incluye a los sensores de orientación, los actuadores de control y el procesamiento electrónico asociado. El control de orientación y el apuntamiento de antena son mantenidos por una computadora a bordo y una rueda de momento de doble suspensión. Las computadoras a bordo controlan los despliegues actuadores y pulsadores y procesan la señal de los sensores y los datos en órbita durante las diferentes fases de la misión.

En operación de modo normal un sensor estático de dos ejes mide la actitud de los ejes X y Y, mientras que la orientación del giroscopio por medio de una rueda de momento, acopla a los ejes X y Z, facilitando la estimación continua del eje Z en el procesador. Una doble estructura pivotea sobre balancines, mantiene siempre en posición horizontal a la rueda de momento cuya función es la de asegurar el control positivo de los ejes X, Y y Z.

Torque magnético

En la órbita de operación, se mantiene la orientación del satélite mediante un control de momento del eje X/Z, este control lo suministra el torque magnético.

El torque magnético se produce mediante una bobina de alambre colocada del centro del cuerpo del satélite. Cuando se envía una corriente eléctrica a través de ella, se presenta una relación con el campo magnético de la tierra causando un torque sobre la espira. Regulando estratégicamente los ciclos de encendido y apagado de la espira, es posible absorber el momento angular sobre los ejes X, Y y Z del satélite. Así, el torque magnético puede funcionar esencialmente como un elemento disipador de momento en lugar de los impulsores. Controlando apropiadamente la espira, es posible extender gradualmente el tiempo en que se requiera el encendido de los impulsores.

Procesador a bordo (SCP *Spacecraft Processor*)

Dentro del subsistema de control de actitud (ACS), el procesador a bordo es el elemento más importante al proporcionar los recursos de procesamiento de software y hardware para realizar las funciones autónomas del control del satélite. Las principales funciones de procesamiento están integradas en este procesador.

El procesador monitorea el estado del satélite, solicitando datos a través de las unidades codificadas de telemetría y de manera directa de las unidades del ACS, utiliza los datos para determinar fallas y errores en el equipo, emplea criterio de verificación límite y algoritmos de detección de error de propósito especial de protección. El propósito de la protección de error es detectar y corregir errores en el satélite. La primera prioridad es mantener el servicio, si esto no es posible, la segunda prioridad es el apuntamiento a tierra. La tercera es el adquirir un estado satisfactorio, si ninguna de las anteriores es posible.

Las operaciones de protección de errores tienen lugar en el contexto de dos reglas principales del centro de control de tierra, estas son las siguientes:

1. Responder a la protección de error de estabilidad en la posición y orientación del satélite sin usar los impulsores.
2. Cualquier inicio de secuencia de recuperación de las principales condiciones que la nave debe satisfacer (como son: estabilidad en la posición y orientación, precisión de la puntería de la antena, vida de la posición orbital nominal, disipación del calor producido por la carga útil, suministro de energía eléctrica a la carga útil) requeridos por el centro de control de tierra, deberá ser iniciada en no más de una hora y adquirir un mínimo de seguridad de las condiciones en no más de dos horas.

Tecnología de lanzamiento de los satélites

Para la puesta en órbita de los satélites Solidaridad, se contrataron los servicios de la compañía Europea Arianespace, quien brinda servicios de lanzamiento para satélites, desde Kourou, Guyana Francesa, en Sudamérica.

Se utilizó un lanzador de tres etapas del tipo no recuperable (ELP) de la versión 44L de Ariane, con capacidad de realizar lanzamientos dobles o dedicados con masa máxima de hasta 4.4 toneladas. Este lanzador cuenta con seis versiones de diferente capacidad, siendo la máxima la antes mencionada.

Control y estado de operación de los satélites

El buen estado operativo de los satélites y el mantenimiento dentro de sus parámetros orbitales es responsabilidad de los centros de control, por lo que como parte integral del sistema Solidaridad se consideró la ampliación del centro de control primario y la construcción de un alterno, mismos que llevan a cabo las funciones asociadas a todas las fases de puesta en órbita del sistema Solidaridad y todas las funciones principales para el mantenimiento en órbita geoestacionaria de los satélites Morelos y Solidaridad, así como el control, verificación de parámetros técnicos y el desarrollo de diversas pruebas de las diferentes señales de comunicaciones que se cursan a través del nuevo sistema de satélites, tales como:

1. Procesamiento de los datos de telemetría, para determinar el estado interno de los satélites
2. Determinación de la posición de los satélites a partir de los datos de rango (elevación, azimut y distancia) y por los datos generados por la telemetría de los satélites.
3. Cálculo de los nuevos parámetros orbitales, usando las computadoras.

4. Envío de comandos al satélite, para mantener al mismo dentro de los parámetros técnicos adecuados y así obtener su máxima eficiencia.
5. Obtención de grabaciones y archivos que permitan establecer una historia detallada de la vida de ambos satélites.

2.3.- REGIONES DE COBERTURA PARA CADA BANDA

Huellas de cobertura

En las siguientes figuras se ilustran las huellas de cobertura de las diferentes regiones servidas por Solidaridad.

Figura 2.3	Patrones de cobertura para la Banda "C" en la región 1 (R-1)
Figura 2.4	Patrones de cobertura para la Banda "C" en la región 2 (R-2)
Figura 2.5	Patrones de cobertura para la Banda "C" en la región 3 (R-3)
Figura 2.6	Patrones de cobertura para la Banda "Ku" en la región 4 (R-4)
Figura 2.7	Patrones de cobertura para la Banda "Ku" en la región 5 (R-5)
Figura 2.8	Patrones de cobertura para la Banda "L" en la región 6 (R-6)

**Patrones de cobertura para la Banda "C"
en la Región 2 (R2)**

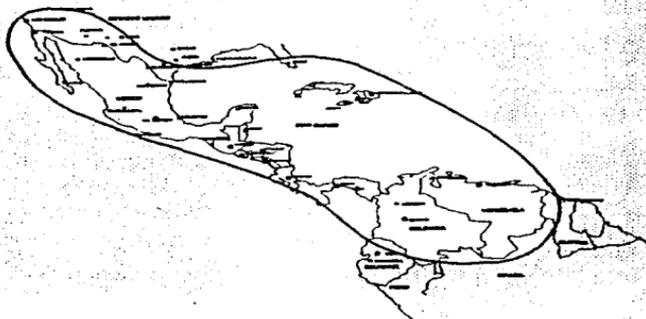


Figura 2.4. Región 2.

Patrones de cobertura para la Banda "C"
en la Región 3 (R3)



Figura 2.5. Región 3.

**Patrones de cobertura para la Banda "Ku"
en la Región 4 (R4)**

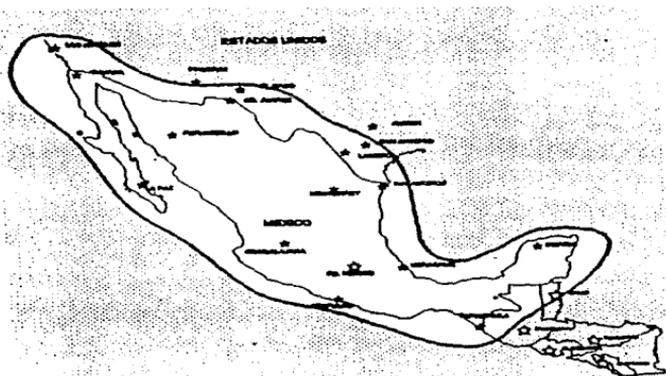


Figura 2.6. Región 4.

Patrones de cobertura para la Banda "Ku"
en la Región 5 (R5)



Figura 2.7. Región 5.

Patrones de cobertura para la Banda "L"
en la Región 6 (R6)

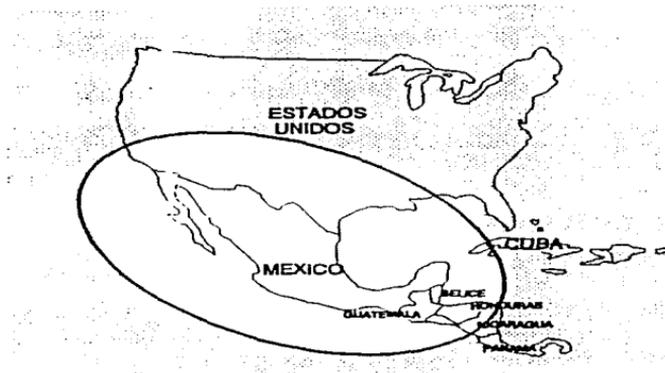


Figura 2.8. Región 6.

2.4.- BANDAS DE OPERACIÓN

Operación de los satélites

Los satélites Solidaridad al igual que los Morelos operan en las bandas C y Ku, y se convierte en vanguardista al integrar en el mismo satélite la banda L.

2.4.1 Banda C

Características de la banda C

El rango de frecuencia en banda C es de 5.925 a 6.425 GHz para el enlace ascendente y de 3.700 a 4.200 GHz para el enlace descendente. La banda C está compuesta por 18 transpondedores divididos en 12 canales angostos (N) de 36 MHz y 6 canales amplios (W) de 72 MHz. Habiendo una separación para los canales angostos de 4 MHz y de 8 MHz para los canales amplios. Existen 4 amplificadores SSPA de respaldo en banda angosta y 2 en banda amplia. Tal como se muestran en la figura 2.9.

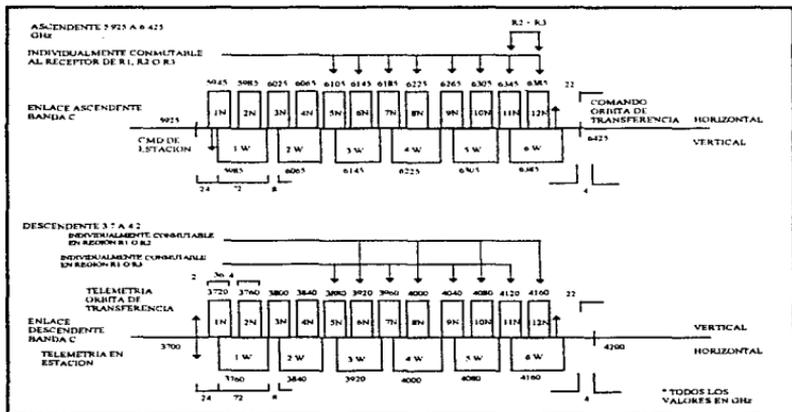


Figura 2.9. Solidaridad plan de frecuencia banda C.

Como podemos ver en la figura anterior todos los canales angostos han sido diseñados para recibir de la región R1 con polarización horizontal y transmitir hacia la región R1 con polarización vertical; además esta banda cuenta con selección de haces para las regiones R2 y R3.

Además los canales amplios están diseñados para recibir únicamente desde R1 con polarización vertical y transmitir únicamente hacia R1 con polarización horizontal.

Se observa además que la selección del haz ascendente a través de los canales 5N al 12N pueden ser individual e independientemente conmutados para recibir de R1, R2 o R3, adicionalmente los transpondedores 11N y 12N pueden recibir de las regiones R2 + R3, además observese que para el enlace descendente los canales 5N, 7N, 9N y 11N pueden ser individual e independientemente conmutados para transmitir hacia R1 o R3, mientras que los canales 6N, 8N, 10N y 12N pueden ser individual e independientemente conmutados para transmitir en R1 o R2.

2.4.2.- Banda Ku

Características de la banda Ku

El rango de frecuencia en Bandas Ku es de 14 000 a 14.500 GHz para el enlace ascendente y de 11.700 a 12.200 GHz para el enlace descendente. Ha sido completamente rediseñada, teniendo un total de 16 transpondedores de 54 MHz, ocho de los cuales reciben en polarización vertical (del 1K hasta el 8K) y los ocho restantes reciben en polarización horizontal (del 9K al 16K) y cuenta con 4 amplificadores TWT de respaldo. Contando con una separación de 7 MHz entre canales como se muestra en la figura 2.10.

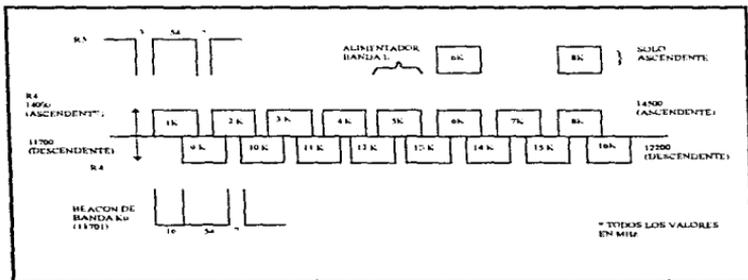


Figura 2.10 Enlaces ascendentes vertical y descendentes horizontal.

Todos los transpondedores tienen la capacidad de recibir y transmitir en la región R4 (ver regiones de cobertura anteriormente mencionadas). Los transpondedores de 5K, 6K y 9K cuentan con linealizador que mejora el desempeño de los canales con multiportadoras.

Para los enlaces ascendentes horizontal y descendente vertical, se presenta en la tabla 2.1 la distribución de los canales, indicando el número de canal y la frecuencia para cada enlace ya sea ascendente o descendente.

Canal No.	Frecuencia Central Descendente, MHz	Frecuencia Central Ascendente, MHz
1	11730	14030
2	11791	14091
3	11852	14152
4	11913	14213
5	11974	14274
6	12035	14335
7	12096	14396
8	12157	14457
9	11743	14043
10	11804	14104
11	11865	14165
12	11926	14226
13	11987	14287
14	12048	14348
15	12109	14409
16	12170	14470

Tabla 2.1. Enlaces ascendentes horizontal y descendente vertical.

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

Vía A:	R4 Ascendente	→	R4 Descendente
Vía B:	R4 Ascendente	→	R5 Descendente
Vía C:	R5 Ascendente	→	R4 Descendente
Vía D:	R5 Ascendente	→	R5 Descendente

El presente diseño permite que el transpondedor 6 sea operando en las vías A, B, C y D; y el transpondedor 8 sólo con las vías A y C.

Transmisión de radiofaro (BEACON)

La banda Ku cuenta con transmisor de radiofaro con redundancia 2:1, con él se adquiere el control de potencia del enlace ascendente, proporcionando una portadora estable, para radiar a las estaciones terrenas permitiendo modificar la potencia ascendente y compensar las condiciones atmosféricas. El sistema de redundancia está provisto de dos transmisores, cada uno seleccionado por comando terrestre y suministra telemetría para el estado encendido/apagado.

En su funcionamiento, el punto clave es la estabilidad de frecuencia debido a la temperatura. La estabilidad de la frecuencia de ± 0.3 ppm, es asegurada a través del uso de un oscilador de temperatura controlada.

Para el tráfico de banda L, se utilizará el transpondedor 5K (parte baja).

2.4.3.- Banda L

Características de la banda L

El rango de frecuencia de la banda L, asignada para los servicios móviles, es de 1525.0 a 1559.0 MHz para el segmento del enlace descendente y de 1626.5 a 1660.5 MHz para el enlace ascendente (figura 2.11).

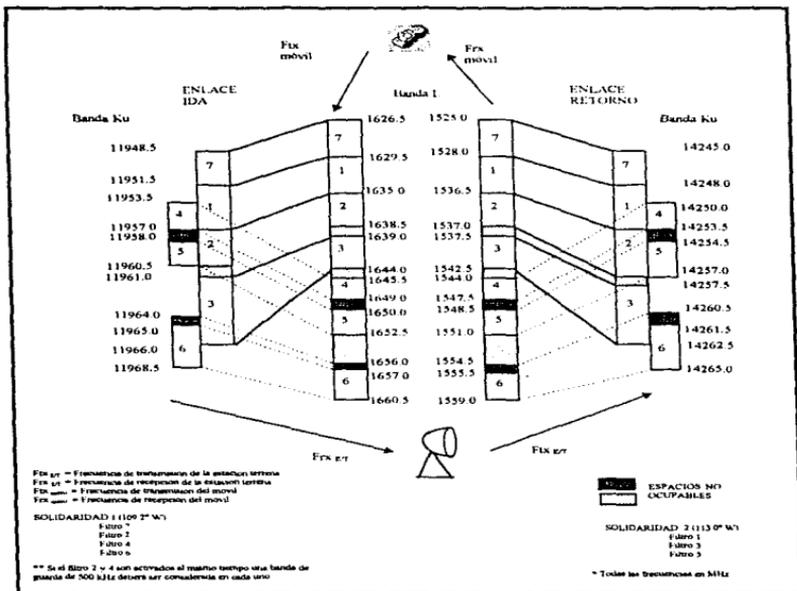


Figura 2.11. Solidaridad plan de frecuencia banda L.

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

Funcionamiento

En la figura 2.11 el enlace de ida comprende a las comunicaciones en banda Ku provenientes de una estación terrestre con diversos usuarios hacia el satélite, en donde se efectúa la traslación de la señal de banda Ku a la banda L, donde es transmitida en banda L a usuarios móviles en tierra, mar y aire, por medio de un arreglo de 26 antenas dipolo tipo copa, montado en la cara nadir del satélite. Por otro lado el enlace de retorno comprende la transmisión de señales de usuarios móviles en banda L hacia el satélite, donde son recibidas por el arreglo de antenas dipolo del satélite, en el cual se efectúa la traslación de la señal de banda L a banda Ku, y de aquí regresa en banda Ku a la estación terrestre.

Para entender su funcionamiento, daremos a continuación un ejemplo: supongamos que un usuario móvil necesita comunicarse con su centro de operaciones, para lograr esta transmisión se tendrá que utilizar un canal de banda L (digamos el correspondiente a un ancho de banda de 1635.0 a 1638.5 MHz), de esta manera el mensaje es recibido por el satélite a través del arreglo de antenas dipolo. Una vez hecho esto, es trasladado de banda L a frecuencia intermedia y de ésta a banda Ku, para ser transmitida a la tierra (en correspondencia con el plan de frecuencias, en el canal cuyo ancho de banda es de 11957.0 a 11960.5 MHz), en donde es recibida por una estación terrena fija, la cual administra el plan de frecuencias y tiene comunicación con el centro de operaciones del usuario móvil, de tal manera que la respuesta del mensaje sube al satélite a través de la estación terrena fija en banda Ku, (considerando el mismo canal con un ancho de banda de 14253.5 a 14257.0 MHz). En el satélite, la señal recibida es trasladada de banda Ku a frecuencia intermedia y de ésta a banda L (en un ancho de banda de 1533.5 a 1537.0 MHz considerando la correspondencia de canal en el plan de frecuencias), para ser radiada por el satélite hacia el usuario móvil, completándose así la comunicación requerida por el usuario.

La banda L para el servicio móvil se divide en cuatro sub-bandas en el Solidaridad 1, y tres en el Solidaridad 2, independientemente controlables con un rango de ancho de banda de 2.5 a 8 MHz. Estas sub-bandas son contiguas a la banda Ku dentro del canal 5, permitiendo el uso del ancho de banda remanente de un canal de 27 MHz de la banda Ku. Debido a las características de propagación de esta banda, únicamente se podrá operar en las áreas en que se efectúe la coordinación de frecuencias. A continuación se muestra en la tabla 2.2 las características de comunicaciones del satélite, tomando en cuenta cada banda.

DESCRIPCIÓN	BANDA C	BANDA Ku	BANDA L
No. de canales	12 canales angostos 6 canales amplios	10	1
Ancho de banda de los canales (MHz)	36 en canales angostos 72 en canales amplios	54	13.5 SOL-1 13.0 SOL-2
Ancho de banda de los canales con banda de guarda (MHz)	36 + 4 = 40 en canales angostos 72 + 8 = 80 en canales amplios	54 + 7 = 61	
Potencia de salidas de los amplificadores (Watts)	SSPA's 16 de 10 a 16 (canales angostos) 8 de 14.4 (canales amplios)	TWTA's 20 de 45	SSPA's 6 de 24
Bandas de frecuencia	GHz	GHz	MHz
Recepción	5.925 a 6.425	14.100-14.500	1626.5-1660.5
Transmisión	7.700 a 8.200	11.700-12.200	1525-1550
Control de ganancia (ATP) (dB)	0-14 en pasos de 2	0-22 en pasos de 2	0-15 en pasos de 1

Tabla 2.2. Características de comunicaciones de los satélites.

En la tabla 2.3 se indican las capacidades instaladas para cada satélite, así como los servicios recomendables para cada banda.

REGIÓN	BANDA	Nº DE TNP's	B (MHz)	PIRE* (dBw)	SERVICIOS RECOMENDABLES
R1	C	4	36	37.50	<ul style="list-style-type: none"> * DISTRIBUCION DE SEÑALES ANALÓGICAS: TELEVISION O TELEAUDICION * DISTRIBUCION DE SEÑALES ANALÓGICAS DIGITALES, VOZ Y/O DATOS, TELEVISION Y TELEAUDICION
	C	6	72	40.50	
R2	C	4	36	36.00	<ul style="list-style-type: none"> * DISTRIBUCION DE TELEVISION ANALÓGICA Y TELEAUDICION DIGITAL * REDES DIGITALES DE VOZ Y DATOS
R3	C	4	36	37.00	<ul style="list-style-type: none"> * DISTRIBUCION DE TELEVISION ANALÓGICA Y TELEAUDICION DIGITAL * REDES DIGITALES DE VOZ Y DATOS
R4	Ku	14	54	47.00	<ul style="list-style-type: none"> * DISTRIBUCION DE TELEVISION (DIGITAL Y/O ANALÓGICA) * REDES DIGITALES DE VOZ Y DATOS
R5	Ku	2	54	46.50	<ul style="list-style-type: none"> * DISTRIBUCION DE TELEVISION (DIGITAL Y/O ANALÓGICA) * REDES DIGITALES DE VOZ Y DATOS
R6	L	1	** 13.5 13	45.5 a	* COMUNICACIONES MÓVILES DE VOZ Y DATOS; TERRESTRES, MARÍTIMAS Y AERIAS

Tabla 2.3. Capacidades instaladas para cada satélite.

TNP's	=	Transpondedor
PIRE	=	Potencia isotrópica radiada efectiva
B	=	Ancho de banda
dB	=	Potencia acumulada (pérdida)
*	=	Potencia de saturación (excepto R6), disminuye al introducirse más de una portadora en el transpondedor (deberá considerarse el back-off)
**	=	El transpondedor de 13.5 MHz opera en Solidaridad 1, en tanto el de 13 MHz opera en Solidaridad 2
FI	=	Frecuencia intermedia

En la tabla 2.4 se presentarán las características de los transpondedores para cada satélite.

BANDA	Nº DE TNP's	B (MHz)	COBERTURA (REGIÓN)	POLARIZACIÓN		TXP
				ENLACE ASCENDENTE	ENLACE DESCENDENTE	
C	12	36	R1, R2, R3	HORIZONTAL	VERTICAL	1000 W
	6	72	R1	VERTICAL	HORIZONTAL	1000 W
Ku	16	54	R4, R5	VERTICAL	HORIZONTAL	18 - 8K
				HORIZONTAL	VERTICAL	9K - 16K
1*	1	** 13.5 13.0	R6	VERTICAL (R6a) CIRCULAR DERECHA (L)	CIRCULAR DERECHA (L) HORIZONTAL (R6a)	5K
						5K

Tabla 2.4. Satélites Solidaridad características de los transpondedores (cada satélite).

TNP's - Transpondedores
B - Ancho de banda

* Para el tráfico de banda 1, se utilizara el transpondedor 5K (parte baja)

** El transpondedor esta conformado por 4 sub-bandas para un total de 13.5 MHz para Solidaridad 1, y el transpondedor de Solidaridad 2 esta conformado por 3 sub-bandas para un total de 13.0 MHz

2.5.- TÉCNICAS DE ACCESO MÚLTIPLE

Entre los diferentes sistemas de telecomunicaciones el sistema de comunicación vía satélite ha sido el más utilizado para comunicar dos puntos que se encuentran muy alejados entre si.

Las razones por la que muchos países utilizan el servicio de comunicación vía satélite es debido a lo siguiente:

1. El costo de un sistema de microondas es muy sensitivo a la distancia, mientras que en la comunicación vía satélite el costo del servicio es independiente de la distancia. Las comunicaciones vía satélite son recomendables utilizarlas cuando las distancias entre los dos puntos que se van a comunicar sea mayor de 100 km, esto es debido a que el costo del equipo de microondas sobrepasa al del servicio vía satélite para esta distancia.
2. Se puede enviar voz, datos a altas velocidades (otro medio de comunicación que puede manejar altas velocidades es la fibra optica).
3. Debido a que existen transmisores (estación terrena transmisora) y receptores (estación terrena receptora) que pueden ser fáciles de transportar e instalar es posible comunicar regiones poco pobladas o de terreno difícil.
4. Otra de las ventajas de utilizar un satélite de comunicaciones es el poder comunicarse con objetos móviles, como son un barco, avión o automóvil.

Los satélites de comunicaciones son colocados a 36 000 km de altura sobre el nivel del mar, dentro de una órbita llamada geoestacionaria. En órbita geoestacionaria el satélite siempre estará apuntando sus haces a una región determinada durante las 24 hrs., tiempo que tarda la tierra en girar sobre su propio eje. Si el satélite es observado desde la tierra nos dará la impresión que permanece estático.

Para enviar la información de un punto a otro, a través de un satélite de comunicaciones, se han desarrollado técnicas que permiten aprovechar los recursos del satélite en forma eficiente, a estas se les conoce como Técnicas de Acceso Múltiple. Por su variedad le permite al usuario utilizar la que mejor se adapte a sus necesidades.

El acceso múltiple es la posibilidad proporcionada a varias estaciones terrenas, de transmitir simultáneamente sus portadoras respectivas al mismo transpondedor del satélite, y además buscando un equilibrio entre el ancho de banda y la potencia disponible del transpondedor.

Entre los diversos sistemas de acceso múltiple aplicados actualmente existen dos tipos fundamentales, FDMA y TDMA.

A continuación se describirán las características principales de estos sistemas de acceso.

Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA)

Los sistemas FDMA (*Frequency Division Multiple Access*), segmentan el ancho de banda de un transponder (el equipo que se encarga de recibir una señal, amplificarla, cambiarla de frecuencia y retransmitirla a la tierra), esto quiere decir, que se pueden accesar varias portadoras con diferentes frecuencias al mismo tiempo en un mismo transpondedor. El ancho de banda asociado con cada portadora puede ser tan pequeño como el destinado a un canal de voz de 9.6 kbps. FDMA puede ser utilizado para transmisiones con modulación digital, por ejemplo una transmisión de datos utilizando una modulación BPSK.

El acceso FDMA es el más simple y consiste en la transmisión simultánea de un número diverso de portadoras a diferentes frecuencias con anchos de banda no traslapados. A cada señal se le asigna una frecuencia, y los productos de intermodulación del amplificador de transmisión ocasionados por la presencia simultánea de un número diverso de portadoras son minimizados, ya sea, por una adecuada selección de la frecuencia de los canales, o bien por la reducción de los niveles de potencia de entrada para permitir una operación casi lineal.

En el caso de la transmisión de varias portadoras en un mismo transpondedor, se deben utilizar bandas de guarda entre los canales adyacentes para minimizar la interferencia, disminuyendo la eficiencia de utilización del ancho de banda del transpondedor. El tamaño de estas bandas de guarda debe considerar las imperfecciones de los filtros empleados en los transmisores, así como los corrimientos de frecuencia de los osciladores que controlan la operación de los convertidores de frecuencia empleados.

En FDMA la capacidad de ancho de banda de un transpondedor se divide en los siguientes tipos de bandas:

1. Se pueden tener pocas bandas (hasta una portadora por transpondedor de 36 MHz) de gran capacidad donde cada banda puede manejar un nivel jerárquico del multiplexaje por división de frecuencia con modulación (FDM/FM), o del multiplexaje por división de tiempo con modulación digital (TDM/MPSK *Multiple Phase Shift Keying*).
2. Se pueden tener muchas bandas con una portadora de un solo canal de voz, cada una de las cuales puede manejar un canal analógico o digital. Este tipo de esquemas se conoce como canal único por portadora (SCPC *Single Channel per Carrier*).

En la figura 2.12 se ejemplifica el uso de un transpondedor por varias estaciones terrenas a través de FDMA.

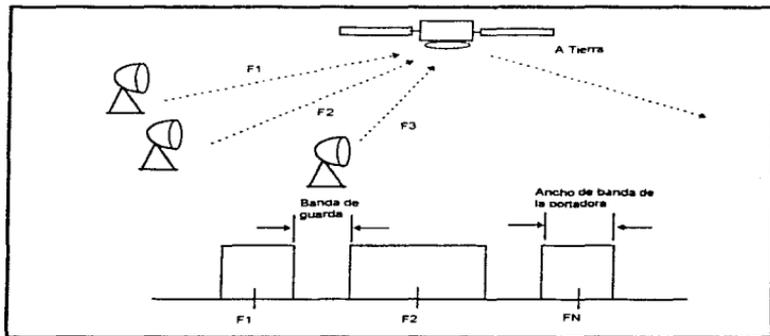


Figura 2.12. Concepto de un Sistema FDMA.

Al haber varias portadoras presentes en el mismo transpondedor de un satélite y debido a la característica no lineal del amplificador de tubo de ondas progresivas (TWT), es necesario operar este último con varios decibeles abajo de su punto de saturación o nivel máximo de potencia de salida. A esta reducción en la potencia aprovechable se le denomina back-off (margen de potencia entre el punto de saturación y el de operación). Si el amplificador se opera en una región altamente no lineal se producirán niveles muy altos de productos de intermodulación, que afectan significativamente la calidad de las señales amplificadas (figura 2.13).

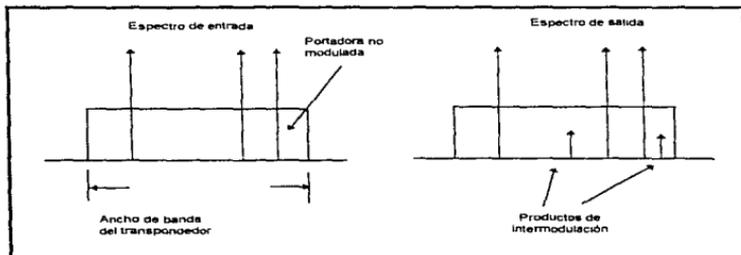


Figura 2.13. Productos de intermodulación en un transponder del satélite.

Al observar la característica típica entrada/salida de un TWT, figura 2.14, puede notarse que el back-off de entrada no es proporcional al back-off de salida más allá del punto A. Es deseable operar el transponder en la región comprendida entre el origen y el punto A, que representa la región lineal del dispositivo.

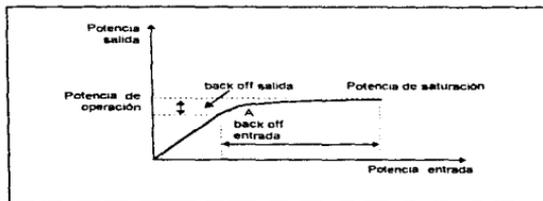


Figura 2.14. Operación de un amplificador de satélite.

Enlace FDM/FM/FDMA

Un enlace FDM/FM/FDMA significa que en la estación terrena transmisora primero se multiplexan o combinan en frecuencia varios canales (FDM) originalmente en banda base, después el resultado modula en frecuencia (FM) a una portadora, y posteriormente ésta es accesada al transponder del satélite (FDMA), en el punto receptor se tiene que efectuar el proceso inverso para recuperar los canales en su forma original o en banda base. En esta técnica cada estación terrena arregla los canales y grupos de canales de entrada en super grupos de 60 canales, que ocupan un ancho de banda de 256 kHz, o bien, grupos de 12 canales con un ancho de banda de 48 kHz, cuando los requerimientos de tráfico son menores. El super grupo por una estación A en particular, contendrá canales con destinos diferentes, sin embargo, los canales modulan en frecuencia a una portadora en el rango de $70 \text{ MHz} \pm 18 \text{ MHz}$ (F1). Después, esta portadora será convertida a una frecuencia mayor (RF) para ser radiada a través de la antena. Todas las estaciones que reciban señales de la estación A demodulan la portadora y extraen los canales que le corresponden mediante un proceso de filtrado.

En los sistemas FDM/FM/FDMA, la capacidad de un transponder operando, varía de acuerdo al número de portadoras, el cual está íntimamente ligado al número de estaciones accediendo al transponder.

La tabla 2.5 muestra la variación del número de canales para un número diferente de portadoras. Como puede notarse la capacidad más alta ocurre cuando se tiene presente solamente una portadora en el satélite y disminuye a medida que las portadoras en el transponder aumentan.

<i>Nº. de portadoras</i>	<i>Ancho de banda por portadora (MHz)</i>	<i>Número de canales por portadora</i>	<i>Número total de canales en el transponder</i>
1	36	900	900
4	3 de 10 1 de 5	132 60	456
7	5	60	420
14	2.5	24	336

Tabla 2.5. Número de canales en un transponder en función del número de portadoras.

En los transpondedores de 36 MHz normalmente se opera con portadora de 2.5, 5 ó 10 MHz, para este tipo de sistemas. También se tiene el caso de que se emplee todo el transponder por una sola portadora para telefonía, en este caso se tiene acceso único y no múltiple. En el caso de televisión, se puede tener una portadora con 36 MHz en acceso único o también, dos canales de televisión de 18 MHz en el mismo transponder.

En conclusión FDM/FM/FDMA es muy eficiente en el aprovechamiento del espectro en el sentido de que cada enlace entre dos estaciones tiene asignada una frecuencia única que no puede ser

utilizada por ningún otro enlace en ningún momento, a menos que se emplee reutilización de espacio (SDMA) o reutilización de frecuencia.

Un sistema FDM/FM/FDMA tiene algunas desventajas como:

1. Las estaciones terrenas que se utilizan son muy costosas.
2. La señal de FM del sistema FDM/FM/FDMA consume mucha potencia del transpondedor. La señal del sistema FDM/FM/FDMA puede estar trabajando a su máxima capacidad de canales de voz o a trabajar con muy pocos canales de voz, pero siempre, estará consumiendo la misma potencia del transpondedor.

Debido a lo anterior se estudiaron otros métodos de acceso múltiple por división de frecuencia al satélite, resultando muy práctico el esquema de un canal por portadora (SCPC) con asignación fija o por demanda.

Canal único por portadora (SCPC *Single Channel per Carrier*)

La técnica de canal único por portadora (SCPC) tiene gran aplicación cuando se desea interconectar un gran número de estaciones terrenas de muy baja capacidad o demanda de tráfico, y consiste en que cada canal se le asigna una frecuencia portadora de RF, misma que es modulada en FM o MPSK (figura 2.15).

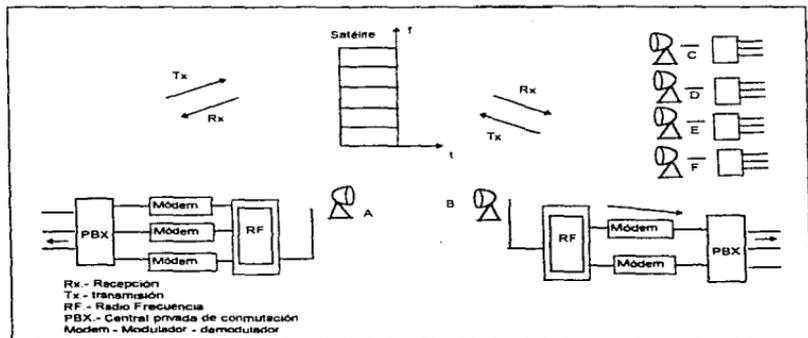


Figura 2.15. Sistema SCPC.

Dado que en telefonía las llamadas son aleatorias, el espectro del transponder se puede aprovechar eficientemente si las frecuencias portadoras de RF se asignan temporalmente a las estaciones terrenas, es decir, únicamente mientras tenga información que enviar. Cuando una estación A termina de transmitir su información, la frecuencia de portadora que se le había asignado pasa a un banco de frecuencias controlado por una computadora central. Si otra estación B desea establecer un enlace, la computadora central le asignará una de las frecuencias disponibles en el "banco" y quizá se le otorgue la misma frecuencia que antes había utilizado la estación A. Como el sistema funciona con base a este banco de frecuencias y el criterio es dar "servicio a quien pida primero", la técnica recibe el nombre de DAMA (*Demand Assignment Multiple Access*).

Acceso múltiple por asignación de demanda (DAMA)

El acceso es múltiple porque serán varias las estaciones terrenas que se enlazan, y la asignación por demanda depende de la cantidad de enlaces de comunicación que necesiten se les asigne un canal de comunicación.

A la capacidad de interconectar varios canales de comunicación entre múltiples puntos que se accesan en base a la demanda que se tenga de estos, se les refiere como un acceso múltiple por asignación de demanda. Cuando el tráfico de señales de información es muy grande, entonces se hace una asignación fija de canal de comunicación, principalmente esto se hace cuando la información a enviar se encuentra geográficamente muy separada. El DAMA puede conseguirse utilizando un simple multiplexaje ya sea por división de tiempo, la división de frecuencia o división de espacio.

Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)

Los sistemas TDMA (*Time Division Multiple Access*), se caracterizan por la utilización de una frecuencia, donde el ancho de banda asociado con dicha portadora es en algunos casos el ancho de banda completo del transpondedor. Este ancho de banda es compartido en tiempo por todos los usuarios en una ocupación de ranuras de tiempo. A pesar de que la ventaja primordial de TDMA es concebida en un sistema que utiliza el ancho de banda completo del transpondedor, existen casos donde este ancho puede ser una fracción del ancho de banda del transpondedor. TDMA es recomendado exclusivamente en transmisores que utilizan modulación digital, por ejemplo señales de video, datos y voz.

El acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) es una técnica de acceso múltiple que permite recibir en el satélite las transmisiones de las diversas estaciones terrenas de la red con un esquema de ranuras de tiempo separadas y evita, por lo tanto, la generación de productos de intermodulación en un transponder no lineal. Cada estación terrena debe determinar con precisión el tiempo y rango de adquisición de la señal de tal manera que las señales transmitidas son temporizadas para arribar al satélite en la ranura de tiempo apropiada.

En la figura 2.16 se muestra la configuración típica de una red TDMA en la cual cada ráfaga de alta velocidad de energía de RF, típicamente con modulación QPSK que arriba al satélite es una ranura de tiempo asignada. Debido a que solamente una señal se encuentra presente en un momento dado en el transpondedor, no existirán productos de intermodulación.

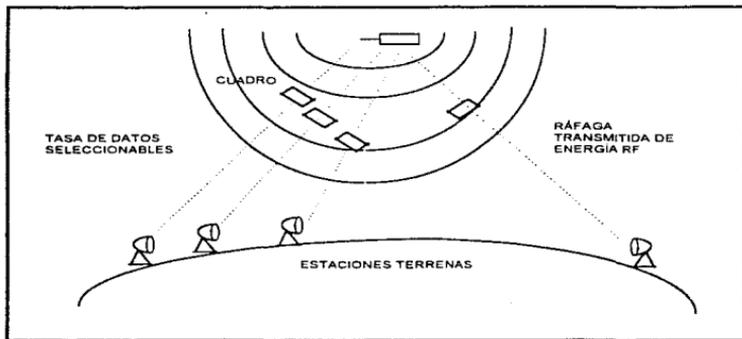


Figura 2.16. Configuración TDMA típica.

En conclusión, TDMA permite operar el amplificador de potencia de salida en saturación, resultando en un incremento significativo en la potencia útil de salida. Las degradaciones debidas a productos de intermodulación son omitidas si se emplean tiempos de guarda suficientes que compensen inexactitudes de la temporización del sistema. Típicamente estos tiempos de guarda consumen del 10% de la potencia y el transpondedor es utilizado, como consecuencia, con eficiencias mayores del 90%.

El receptor TDMA demodula cada una de las ráfagas TDMA enviadas para las estaciones transmisoras y las demultiplexa en flujos de bits individuales.

Acceso CDMA (*Code Division Multiple Access*)

Este tipo de acceso múltiple nació de la combinación de los dos sistemas básicos de multiplexación, en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia, con lo cual se genera un plano tiempo-frecuencia, en donde la transmisión de cada estación terrena es separada por una transformación codificada en el plano tiempo frecuencia, utilizando esta técnica se multiplica la cantidad de acceso en donde un número de estaciones terrenas pueden operar simultáneamente en la misma banda de frecuencia pero utilizando diferentes tiempos claves. Esta codificación es ortogonal por lo que se puede codificar fácilmente. Este tipo de acceso múltiple se utiliza mucho en los sistemas militares.

Al sistema CDMA también se le conoce por otro nombre en algunos países, a este mismo sistema se le suele llamar SSMA (acceso múltiple por separación de espectro), como ya se mencionó, la codificación permite un acceso aleatorio y establecer la conexión, aplicándose a sistemas móviles por satélite.

El disponer de los diferentes tipos de servicios y regiones de cobertura que presta el satélite Solidaridad I a través de las bandas C, Ku y L, además de las diferentes técnicas de acceso, permiten obtener un control y eficiencia sobre los recursos de potencia y ancho de banda, que sirvan como un medio para optimizar el diseño de la red propuesta en este trabajo.

**DISEÑO
DE LA RED
SATELITAL**

En los capítulos anteriores hemos mostrado las herramientas empleadas en la descripción teórica y práctica de los diferentes conceptos y elementos que conforman y que hay que considerar en el diseño de una red de voz y datos, se han explicado los fundamentos de la transmisión de información de un punto a otro, las diferentes técnicas de modulación y multiplexación de los canales empleados para lograr la comunicación de un determinado número de señales, así mismo se han comentado las características técnicas del satélite solidaridad 1, también se han enumerado y explicado las diferentes técnicas de tratamiento que deben recibir las señales.

En el presente capítulo se enumerarán las diferentes características y consideraciones que se deben tomar en cuenta en cada parte del diseño de la red de voz y datos objetivo de este trabajo, se describirán los componentes principales que conforman tanto a la estación maestra como a las estaciones remotas, también se darán las especificaciones del equipo propuesto que satisface las necesidades de comunicación de nuestra red.

3.1.- DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO BÁSICO DE UNA RED DE VOZ Y DATOS

Un sistema de comunicaciones implica la comunicación entre dos o más puntos; dependiendo del tipo de tecnología empleada para este fin, se tendrán diferentes tipos de sistemas de transmisión de voz y datos. Como el tipo de comunicación que nos interesa es empleando un satélite, a continuación describiremos que elementos se requieren para establecer la comunicación entre dos usuarios.

3.1.1.- Enlace de voz

A partir del momento en que un usuario marca una extensión determinada en un teléfono, y el usuario receptor reconoce el timbrado de llamada en su teléfono, se establece un proceso de comunicación. En el caso de una comunicación satelital se requiere de la siguiente infraestructura: segmento terrestre transmisión (Tx) o estación terrena transmisora (E/T_{Tx}), segmento espacial satélite, tanto recepción (Rx) como transmisión (Tx), y el segmento terrestre recepción (Rx) o estación terrena receptora (E/T_{Rx}).

Segmento terrestre Tx

Se denomina segmento terrestre a la infraestructura en tierra necesaria para la comunicación vía satélite, el segmento terrestre se refiere genéricamente a las estaciones terrenas. Una estación terrena se conforma básicamente por uno o varios modems, convertidores de subida, amplificadores de alta potencia y una antena de reflector parabólico.

Desde la estación que llama, al marcar la extensión deseada se genera una señal analógica que pasa a un conmutador o directamente a una unidad codificadora de voz que convierte la señal analógica a digital (que toma el valor de 0 y 1), misma que llega al canal correspondiente de voz del multiplexor, con lo cual se inicia un proceso de modulación en los modems, posteriormente se incrementa la frecuencia de la señal modulada a través de los convertidores 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 de interés en la cadena de transmisión son los siguientes:

1. Modem.
2. Convertidor de subida.
3. Amplificador de alta potencia (HPA).
4. Antena transmisora.

En la figura 3.1 se describe la configuración del equipo y procesamiento de la señal en una cadena de transmisión.

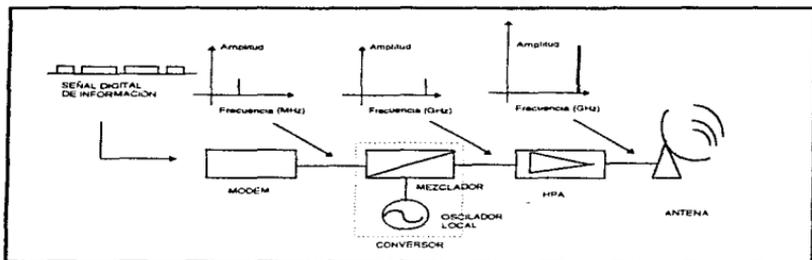


Figura 3.1. Configuración del equipo y procesamiento de la señal en la estación terrena transmisora.

A continuación se comentarán las características generales de los equipos mostrados en la figura anterior.

Modem

La función de los Modems es generar 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 portadora, típicamente es una señal senoidal generada internamente en el modem.

Convertidor de subida

El convertidor de subida es el equipo que eleva la frecuencia de la señal modulada desde el rango de frecuencia intermedia (es decir a 70 MHz o 140 MHz dependiendo del sistema) hasta el de radiofrecuencia, ya sea en la banda C o Ku.

Amplificador de alta potencia (HPA)

El amplificador de alta potencia le proporciona a la señal modulada la potencia necesaria para llegar al satélite, con el nivel que este requiere para poder retransmitir la señal a la tierra.

Antena

La antena es el dispositivo encargado de radiar la energía de la señal en dirección al satélite, proporcionándole además una polarización vertical u horizontal respecto a la horizontal terrestre.

Segmento espacial satélite Rx y Tx

El procesamiento de la señal de comunicación en el satélite, a grandes rasgos, es el siguiente:

- 1.- Amplificación de bajo ruido (LNA).
- 2.- Conversión de frecuencia.
- 3.- Amplificación de alta potencia.
- 4.- Cambio de polarización.

Segmento espacial satélite Rx

El primer dispositivo electrónico importante que encuentran las señales recibidas por la antena del satélite es un amplificador de bajo ruido, con poca potencia de salida; esta unidad genera internamente muy poco ruido, que se suma a las señales originales que entran a él para su amplificación. A este dispositivo también se le denomina preamplificador de bajo ruido, porque después de él hay otras etapas de amplificación.

Hasta este momento, lo único que se ha hecho es aumentar ligeramente el nivel de potencia de las señales. Cuando han alcanzado un nivel adecuado, pasan por un dispositivo conocido como convertidor de frecuencia, que no es más que un oscilador local que multiplica las señales que entran por otra generada internamente; las señales obtenidas a la salida del aparato son similares a las que entraron, por lo que respecta a su contenido, pero han sido desplazadas a frecuencias más bajas en el espectro radioeléctrico aunque dentro de la misma banda.

Segmento espacial satélite Tx

La amplificación de la señal a enviar a la tierra se realiza por medio del amplificador de alta potencia correspondiente al del transpondedor en uso, el cual proporciona la potencia necesaria para el enlace de bajada, es decir, para la comunicación entre el satélite Tx y la E/TRX.

Para realizar el cambio de polaridad de la señal recibida por el satélite, ésta se encausa a la salida de los alimentadores que tienen polaridad diferente a la que tuvo a su entrada al satélite. La señal es radiada por la antena del satélite en dirección de la superficie de la tierra, generalmente a manera de haces conformados. La polarización de una señal electromagnética está asociada a la dirección de su campo eléctrico; dos polarizaciones son ortogonales entre sí cuando sus vectores de campo eléctrico forman 90° en todo momento.

Segmento terrestre Rx

Posterior a su retransmisión por el satélite, la señal de comunicación de interés (canal de voz), será recuperada por la estación terrena receptora. En términos generales la estación receptora capta a través de su antena a la señal proveniente del espacio, la amplifica, le disminuye su frecuencia y la demodula.

En la figura 3.2 se describe la configuración del equipo y procesamiento de la señal en una cadena de recepción.

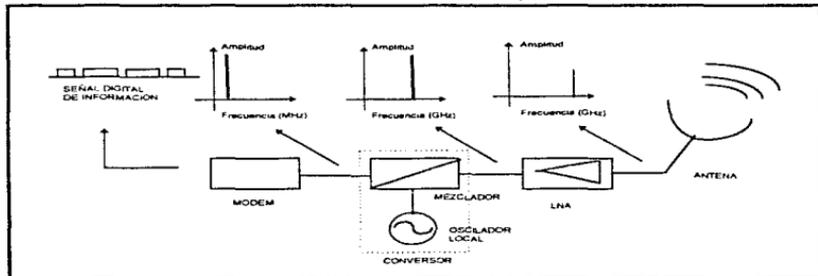


Figura 3.2. Configuración del equipo y procesamiento de la señal E/T receptora.

Antena

Después de haber viajado los aproximadamente 36 000 km de distancia entre el satélite y la E/T receptora, la señal de comunicación llega a la antena de la estación, que la concentra y dirige hacia el amplificador de bajo nivel de ruido (LNA).

Las antenas utilizadas en estas aplicaciones son sumamente directivas, es decir, que presentan ganancias muy altas en una dirección determinada, lo anterior es necesario debido a los bajos niveles de potencia que llegan a la tierra provenientes del satélite.

Amplificador de bajo ruido LNA

Como se mencionó anteriormente, el amplificador de bajo ruido es un dispositivo encargado de amplificar a la débil señal recibida por la antena de la E/T. La característica de bajo ruido de estos amplificadores es la de agregar un mínimo de ruido a la señal amplificada, siendo que esta señal, proveniente del satélite, tiene un nivel muy bajo de potencia, y si fuera tratada por un amplificador sin la característica de bajo ruido, la potencia de la señal de información se perdería en el ruido generado por dicho amplificador.

Convertidor de bajada

El convertidor de bajada es el equipo que reduce la frecuencia de la señal proveniente del satélite del rango de radiofrecuencia, ya sea la banda C o Ku, hasta el rango de frecuencia intermedia (es decir a 70 MHz o 140 MHz dependiendo del sistema), entregando la señal resultante al modem.

Modem

Una vez que la señal está en el rango de la frecuencia intermedia, llega al modem en su etapa demoduladora, que se encarga por medio del procedimiento de demodulación de separar la señal portadora de la señal demoduladora; una vez hecho esto se encarga de proporcionar la información en la banda base, la cual viaja hacia el canal de voz asignado en el multiplexor y la conduce al conmutador o al teléfono directamente, completándose así el enlace por voz.

3.1.2.- Enlace de datos

Tomando como base la descripción anterior del enlace de voz, el proceso de comunicación de datos es similar, en lo que respecta al equipo tanto de radio frecuencia (LNA, HPA, convertidores de subida y bajada, antena) como de frecuencia intermedia (modem), y su enlace con el satélite; la diferencia estriba en el equipo terminal de datos en ambos extremos (transmisión y recepción), del lado del usuario receptor el último equipo puede ser un ruteador, una terminal, una impresora o una microcomputadora, enlazadas al equipo de banda base por medio de un multiplexor exclusivo de datos en el que se pueda permitir conectar los equipos antes mencionados. Al igual que del lado de la transmisión el enlace entre el procesador y el equipo

banda base se hace por medio de un ruteador, que como su nombre lo indica direcciona la información del procesador y de los usuarios basándose en direcciones lógicas, previamente asignadas en el procesador y en el ruteador para que éste identifique y direcciona correctamente la información, ó directamente del multiplexor.

Cabe mencionar que el flujo de información es bidireccional, es decir que el transmisor recibe información, y el receptor transmite información valiéndose de los equipos ya mencionados.

3.2.- REQUERIMIENTOS DE LA RED PARA LAS ÁREAS ADMINISTRATIVAS

No toda la información que requiere una empresa o corporación es generada dentro de las instalaciones en donde se encuentre ubicada, generalmente requiere de datos originados en alguna localidad alejada. Por ello es necesario transportarlos desde los diversos lugares en donde se origina.

Televisa trabaja con información que es generada en distintos puntos de la República Mexicana, esta empresa privada brinda servicios de telecomunicaciones y cuenta con aproximadamente 5,000 empleados, distribuidos en el interior de la república, en sus diferentes televisoras

Entre los diferentes tipos de información generada en la empresa, destaca la de las áreas administrativas. Dicha información se clasifica según su contenido, de acuerdo a esto contamos con las áreas de: nóminas, sistemas y contabilidad, las cuales son las más importantes dentro de la empresa, en cuanto a el manejo de información.

1) Nóminas

El departamento de nóminas se encarga directamente de procesar las nóminas decenal y quincenal de la empresa. El personal que tenga acceso al sistema de la nómina debe contar con una contraseña para tal efecto. Cada usuario del sistema es responsable de la captura de su información. Para efectuar cualquier cambio en las tablas establecidas del sistema como: impuestos, fondo de ahorro, sindicato, etc., se debe de contar con la autorización por escrito por la gerencia de nóminas. Las áreas de Televisa deben notificar el tiempo extra del personal a su cargo, según calendario asignado para este fin. Es obligación de la caja conservar los recibos de pago que queden en su poder como comprobante de que se entregó el sobre correspondiente al empleado, por lo menos durante dos años. La prima de vacaciones se paga anualmente a partir del primer año de trabajo del empleado.

Nóminas captura altas, bajas, aumentos de sueldos, sindicalizaciones, desindicalizaciones y cambios de departamento autorizados en el sistema TEXP (en donde se capturan todas las incidencias y las cuentas que éstas afectan), recibe los formatos de tiempo extra, descansos trabajados, pago de pasajes, etc. de las áreas de Televisa. También se encarga de ordenar por departamento la información, llevando a cabo la separación de horas extras dobles y triples, conforme al contrato de ley. Captura, verifica y revisa vía sistema los movimientos notificados por las áreas de Televisa.

El área de nóminas de la empresa tiene en sus principales funciones la elaboración de:

- * La nómina.
- * La nómina confidencial.
- * La nómina de provincia.
- * La nómina anual de gratificación y anticipo de R. U. T.
(Reparto de utilidades del trabajador)
- * Pago al personal de nómina.
- * Traspaso de sueldos.
- * Trámite de alta de un trabajador ante el Instituto Mexicano del Seguro Social.
- * Trámite de baja de un trabajador ante el Instituto Mexicano del Seguro Social.

2) Sistemas

A continuación se mencionan algunas de las áreas que conforman el área de sistemas, dando un panorama general de éstas.

Área	Funciones
Enlace y comunicaciones	Estudio de los diferentes paquetes de comunicación, para determinar, en caso dado, qué o cual paquete usar para establecer un canal de comunicación tanto interno como externo, y también con otros organismos.
Diseño gráfico	Elaboración de gráficas, animación, formas, propagandas, anuncios, letreros, organigramas y todo lo que se refiera a diseño gráfico por computadora.
Desarrollo de sistemas	Análisis y diseño de sistemas, estudio de nuevos lenguajes de programación para reemplazo de los ya existentes, por otros más poderosos. Distribución de sistemas en áreas nuevas de la empresa.

Control de procesos Controlar que los sistemas funcionen adecuadamente, elaboración de reportes periódicos de avances en los mismos. Establecer periodos de entrega. Detectar irregularidades en los procesos mencionados. Programación de sistemas en las áreas asignadas.

Mantenimiento y soporte técnico Mantener en óptimas condiciones el equipo de cómputo de Televisa y áreas dependientes. Así como llevar un control del equipo existente, tener un organigrama de la localización del equipo, así como de los repetidores activos y pasivos, para en caso de imprevistos, determinar la incorporación de equipo nuevo rápidamente, cuando se le solicite.

3) Contabilidad

El departamento de contabilidad tiene como tarea fundamental el procesamiento y generación de toda la información relacionada con el aspecto económico y financiero de la empresa, esta área se compone fundamentalmente de las siguientes áreas:

Procesamiento de datos, la cual se encarga de:

- Proporcionar asesoría y apoyo a las áreas de la gerencia de facturación y estadística, en lo que se refiere a la generación de reportes y desarrollo de sistemas requeridos.
- Captura y codificar todos los contratos recibidos por concepto de tiempo comercializable y por derechos de serie, así como asegurarse del correcto proceso de emisión de los listados correspondientes.
- Capturar los datos por cancelaciones y/o modificaciones a contratos de tiempo comercializable.
- Controlar el catálogo de numeración de programas, a fin de evitar errores o duplicidad en los cargos que se efectúan a los mismos.

Facturación provincia, la cual es responsable de:

- Ordenar la facturación y llevar el control del tiempo de comercialización por ventas nacionales.
- Controlar las afectaciones que modifican la situación inicial de los contratos por tiempo comercializable en transmisiones nacionales.
- Verifica que toda orden de facturación esté respaldada por el contrato correspondiente.
- Integrar y proporcionar toda la información relacionada con la situación de la facturación de ventas nacionales.

Facturación México, la cual.

- Ordena la facturación de tiempo comercializable en los canales 2, 4 y 5.
- Controlar todas las transmisiones efectuadas en los canales 2, 4 y 5 facturables y no facturables.
- Actualizar los centros de costos asignados contablemente a cada nuevo programa transmitido.
- Elaborar facturas económicas

Clientes especiales, la cual es responsable de:

- Controlar los pagos anticipados por tiempo comercializable y el crédito a clientes por la cancelación de su contrato.
- Efectúa la revisión periódica del estado de clientes sujetos al plan de venta anticipada.
- Llevar el control por cliente y/o agencia de las notas de crédito elaboradas a cargo de éstos, a fin de evitar duplicidad en la emisión de las mismas.

La coordinación de análisis financiero es responsable de:

- Hacer las integraciones de los estados financieros de Televisa, y de las empresas filiales para efectos de información

Considerando que mucha de la información se genera en las ciudades de Guadalajara y Monterrey, y que día con día va en aumento, y aunado a esto la difícil situación geográfica en que se encuentra la ciudad de Mexicali, es necesario establecer una red de comunicaciones entre estas localidades y el Distrito Federal (Televisa Chapultepec), que es el lugar donde se concentra toda la información.

3.3.- DIMENSIONAMIENTO DE LA RED

En el diseño de nuestra red se contempla el uso de estaciones terrenas que operen las 24 horas de los 365 días del año, haciendo uso del satélite Solidaridad 1. El sistema integral de telecomunicaciones de Televisa requiere, de acuerdo a su organización interna, contar básicamente con canales de comunicación de voz y datos que satisfagan el volumen de su información transaccional.

Para dimensionar correctamente una ruta se deberá tener la idea de su posible utilización, es decir, el número de llamadas que se intentarán establecer al mismo tiempo sobre dicha ruta.

El dimensionamiento del tráfico de voz se hará con base en los datos proporcionados por la gerencia de comunicaciones de Televisa Chapultepec. Los cuales se presentan en la tabla 3.1, considerando el muestreo de los meses de junio, julio y agosto de 1995, tomando en cuenta las llamadas que entran y salen de las áreas mencionadas anteriormente a las ciudades de Guadalajara, Mexicali y Monterrey.

Localidad	Meses de 1995		
	Junio	Julio	Agosto
De Guadalajara a			
Mexicali	11	7	16
México	1335	1362	1503
Monterrey	16	13	12
De Mexicali a			
Guadalajara	11	14	8
México	1243	1271	1424
Monterrey	6	8	12
De Monterrey a			
Guadalajara	13	10	16
Mexicali	8	11	15
México	1123	1169	1286
De México a:			
Guadalajara	537	512	688
Mexicali	663	633	566
Monterrey	667	662	667

Tabla 3.1 Número de llamadas en los meses de junio, julio y agosto de 1995.

En la tabla 3.2 se muestran el tipo de enlace de datos existentes hacia Guadalajara y Monterrey proporcionados por la gerencia de Comunicaciones de Televisa Chapultepec.

Enlace	Tipo / Velocidad
México - Guadalajara	E0 / 64 kbps
México - Monterrey	E0 / 64 kbps

Tabla 3.2. Enlaces de datos existentes.

Los datos de la tabla 3.1 se obtuvieron de reportes como el que se muestra en la tabla 3.3, donde se pueden observar fechas de las llamadas, la duración de las mismas, etc..

Del 13 de julio al 12 de agosto 1995								
Fecha	Hora	Ext.	Lugar	Número marcado	Dirección (hh: ss)	Costo	Impuesto	Total
12-08-95	10:05	3738	Guadalajara	9136478790	00:05	13.15	1.97	15.12
23-07-95	11:33	3738	Guadalajara	9136634542	00:01	2.63	39	3.92
09-08-95	15:17	3738	Guadalajara	9136693434	00:04	10.52	1.88	12.10
29-07-95	14:26	3968	Guadalajara	9163426511	00:02	5.26	79	6.05

Tabla 3.3. Listado de llamadas de larga distancia (fragmento).

Implementación del número de canales de voz necesarios para interconectar las diferentes localidades

A continuación se realizó un promedio de las llamadas generadas en los tres meses considerados en el muestreo en base a la tabla 3.1, dando como resultado los valores que se muestran en la tabla 3.4.

De	Localidades			
	A Mexico	A Guadalajara	A Mexicali	A Monterrey
Mexico	7	580	621	660
Guadalajara	1400	7	12	14
Mexicali	1313	11	7	9
Monterrey	1193	13	12	7

Tabla 3.4 Promedio de llamadas generadas en los meses de junio, julio y agosto de 1995.

Tomando en cuenta el número de llamadas, tanto entrantes como salientes en cada localidad, se hizo la estimación del número de canales necesarios para cada una de ellas. Este cálculo se hizo bajo los lineamientos de la teoría del tráfico, la cual se explicará brevemente a continuación.

Teoría del tráfico

El danés A. K. Erlang 1878-1929, fue el primero en abordar el estudio del tráfico telefónico con base en el cálculo de probabilidades, estableciendo con esto lo que se conoce como la teoría del tráfico.

La intensidad de tráfico (A) es la medida de la magnitud del tráfico, es un valor promedio de llamadas que existen durante un periodo de observación. En forma estricta, la intensidad de tráfico es una cantidad adimensional, pero se le ha asignado la unidad Erlang (erl), en memoria del fundador de la teoría.

La determinación del número de troncales o canales que se requiere en la ruta o conexión entre dos centrales se le conoce como dimensionamiento de la ruta. Para dimensionar una trayectoria de tráfico o el tamaño de una central telefónica, se debe conocer la intensidad de tráfico representativa de la temporada normal ocupada, aunque observando la variación de un día típico se nota que cierto periodo de una hora es el que muestra la mayor lectura. Este periodo de mayor intensidad de tráfico se denomina hora pico.

A continuación se mencionarán las cuatro definiciones más comunes de hora pico.

1. La lectura promedio de un día entre semana, tomada durante una o dos semanas de la temporada ocupada, práctica usual para tráfico manual (por operadora).

2. El promedio del tráfico en la hora pico de los 30 días más ocupados del año (definida como "tráfico de la hora pico promedio" según recomendación Q 80 del CCITT).
3. El promedio del tráfico en la hora pico de los 10 días más ocupados del año (norma norteamericana).
4. El promedio del tráfico en la hora pico de los 5 días más ocupados del año (se refiere al tráfico de días "excepcionalmente ocupados", según recomendación Q.80 y Q.87 del CCITT).

Si el tráfico telefónico se define como la acumulación de llamadas telefónicas en un grupo de circuitos o troncales, considerando tanto su duración como su cantidad, el flujo de tráfico (A) se calcula con base en la ecuación 3.1.

$$A = C \times T = erl \quad \text{Ec. 3.1.}$$

donde:

C = Cantidad de llamadas por hora

T = Es la duración promedio por llamada

Para la ecuación anterior, la unidad de tráfico serán llamadas-minutos ó llamadas-hora.

Tomando en cuenta que para dimensionar adecuadamente centrales telefónicas y rutas de transmisión se trabajará con niveles de tráfico en horas pico. Cuando se dimensiona una ruta, lo que se requiere es determinar el número de circuitos de la ruta. Probablemente, la ecuación que más se utiliza en la actualidad es la de llamadas perdidas de Erlang (E_n) ecuación 3.2. Aquí, perdidas significa la probabilidad de bloqueo en el conmutador debido a congestión o al estado de "todas las troncales ocupadas" (ATB). Esto se expresa como grado de servicio E_n de Erlang, que son el tráfico ofrecido y el número disponibles de troncales o canales en servicio.

$$E_n = \frac{A^n/n!}{1 + A + A^2/2! + \dots + A^n/n!} \quad \text{Ec. 3.2.}$$

donde: n = número de troncales o canales en servicio.

A = promedio del tráfico ofrecido.

E_n = grado de servicio.

Téngase en cuenta que la fórmula anterior maneja el tráfico ofrecido, cuya diferencia con el tráfico cursado es el número de llamadas perdidas (véase apéndice B, listado de tablas de Erlang). El tráfico ofrecido es el volumen de tráfico direccionado a una central telefónica durante un predeterminado periodo de tiempo, mientras que el tráfico cursado es el volumen de tráfico actualmente transferido a través de la central y su destino durante un predeterminado periodo de tiempo.

A continuación se dará un ejemplo de como se obtiene el número de canales según el análisis de tráfico telefonico.

Supongamos que la cantidad de llamadas por hora es de $C = 360$ llamadas/hora y que la duración promedio por llamada es $T = 2$ minutos, entonces el tráfico será:

$$A = (360) (2 / 60) = 12 \text{ erl}$$

Debido a que generalmente se emplean valores de congestión entre el 0.1 y el 20 %, es decir mientras menos congestión se acepte, mayor será la cantidad de circuitos (líneas) necesarios para un tráfico dado.

Utilizando una congestión del 0.1%, que es el que nos representa el mayor grado de confiabilidad y un tráfico promedio de 12 erl, se obtiene de tablas (ver tabla 3.5 ó apéndice B) que se requiere de 24 circuitos para soportar dicho tráfico de llamadas.

n	E	0.00001 (0.001%)	0.00002 (0.002%)	0.00003 (0.003%)	0.00010 (0.01%)	0.00020 (0.02%)	0.00050 (0.05%)	0.00100 (0.1%)	0.00200 (0.2%)	0.00500 (0.5%)	0.01000 (1%)	0.01000 (1%)
23	0.7331	0.3407	0.1087	0.0420	0.0171	0.0069	0.0024	0.0009	0.0003	0.0001	0.0000	0.0000
24	0.5277	0.1403	0.0431	0.0157	0.0059	0.0021	0.0008	0.0003	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
25	0.3732	0.0971	0.0304	0.0103	0.0036	0.0013	0.0005	0.0002	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
26	0.2708	0.0657	0.0209	0.0070	0.0025	0.0009	0.0004	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Tabla 3.5 Tablas de Erlang (fragmento).

De acuerdo al procedimiento antes descrito para la obtención del número de canales, se realizará la memoria de cálculo para el número de canales de voz para el enlace Guadalajara-México, cabe mencionar que la obtención de los demás enlaces llevó el mismo procedimiento.

Enlace México - Guadalajara

De Guadalajara a México se observa que se tienen:

1400 llamadas por mes en 20 días laborables por mes.

Con estos datos calcularemos cuantas llamadas son por día, realizando la siguiente operación:

$$1400/20 = 70 \text{ llamadas por día.}$$

Considerando que la gerencia de telefonía de Televisa Chapultepec considera el tráfico pico como el 30% del tráfico total cursado en el día, tenemos que:

$$70 \text{ llamadas / día } (0.30) = 21 \text{ llamadas / hora}$$

y considerando una duración promedio por llamada de 4 minutos, obtenemos:

$$A = (21) (4 / 60)$$

obteniendo como resultado:

$$A = 1.4 \text{ erl}$$

Obtenido este resultado y tomando en cuenta un grado de servicio del 5% que es el grado de servicio estandarizado para redes privadas de comunicación y empleando las tablas de Erlang que se encuentran en el apéndice B, tenemos como resultado que el número de canales necesarios para este enlace en el sentido de Guadalajara - México es de 4 canales.

De forma análoga se calcula el número de canales necesarios para el enlace en el sentido opuesto, es decir, México a Guadalajara, para el cual se obtuvo como resultado que son 3 canales los que se necesitan para este enlace. Y finalmente este mismo procedimiento se emplea para las otras plazas consideradas en el proyecto obteniendo como resultado los datos expuestos en la tabla 3.6.

De	Localidades			
	A México	A Guadalajara	A Mexicali	A Monterrey
México	1	3	3	3
Guadalajara	4	1	-	-
Mexicali	4	-	1	-
Monterrey	4	-	-	1

Tabla 3.6. Número de canales obtenidos para cada plaza.

En la tabla 3.7 se muestra el número de canales necesarios para cada uno de los enlaces a considerar, tomando en cuenta que este número obtenido es de las llamadas que salen y entran a las áreas administrativas consideradas en este diseño.

Enlace	Canales necesarios
México - Guadalajara / Guadalajara - México	4 a 16 kbps 3 a 9.6 kbps
México - Mexicali / Mexicali - México	4 a 16 kbps 3 a 9.6 kbps
México - Monterrey / Monterrey - México	4 a 16 kbps 3 a 9.6 kbps

Tabla 3.7. Número de canales propuesto para cada enlace de voz, para la red a diseñar.

Para la implementación de canales de datos hacia cada una de las plazas se hizo la consideración de que el tipo de tráfico hacia y desde cada una de las plazas serán básicamente reportes, memorándums, etc., en general archivos de tamaño mediano (2 MB máximo en promedio), de tal forma que una velocidad de transferencia de información entre 9.6 kbps y 19.2 kbps serán suficientes para estos requerimientos.

Es decir para la transferencia de datos se proponen los canales mostrados en la tabla 3.8.

Enlace	No. de Canales / Velocidad
México - Guadalajara / Guadalajara - México	1 a 19.2 kbps 1 a 9.6 kbps
México - Mexicali / Mexicali - México	1 a 19.2 kbps
México-Monterrey / Monterrey - México	1 a 19.2 kbps 1 a 9.6 kbps

Tabla 3.8 Número de canales propuestos para cada enlace de datos, para la red a diseñar.

Con la obtención de estos datos, procederemos a dar una propuesta de solución para enlazar a estas localidades.

3.4.- PROPUESTA DE SOLUCIÓN

La red de Televisa Chapultepec, no puede darse el lujo de alguna pérdida de información ya que esto implicaría el retraso de procesos. De ahí la necesidad de contar con una red de voz y datos que permita la automatización de procedimientos internos de las áreas de nuestro interés, la cual facilite el trabajo de cada colaborador y reduzca los tiempos y costos de las operaciones que Televisa Chapultepec realiza en el interior y exterior de la República Mexicana tanto de sus oficinas principales en el Distrito Federal como de sus filiales.

Con base en los requerimientos obtenidos anteriormente, el tipo de red propuesta para solucionar la problemática de transmitir voz y datos, para las áreas administrativas más importantes de Televisa, es implementando una red satelital, la cual tendrá una topología tipo estrella, debido a que la información se concentra en Televisa Chapultepec, que será considerada como la estación maestra de nuestra red, en la que se utilizará la técnica de acceso al satélite canal único por portadora (SCPC), ya que el número de canales obtenidos con base en el tráfico de información de voz, así como la demanda de datos, y considerando también que el número de estaciones terrenas remotas pueden llegar a crecer, se utilizará esta técnica que se caracteriza por interconectar una gran cantidad de estaciones de baja capacidad ó demanda de tráfico.

La red de comunicaciones via satélite propuesta consta de los siguientes módulos:

Estación maestra.

La información generada en este punto es multiplexada, elevada en frecuencia y amplificada en potencia, para ser transmitida por una antena hacia el satélite, que recibe la señal, la cambia en frecuencia y la amplifica en potencia para retransmitirla a la tierra, hacia las diferentes estaciones remotas que se contemplan en nuestra red. En las estaciones remotas la información es recibida por una antena y a partir de la cual se realiza el proceso inverso al realizado en la estación maestra, es decir se amplifica en potencia, se reduce en frecuencia y se demultiplexa para obtener la información de la estación maestra, completándose la comunicación. Cabe mencionar que nuestra sistema de comunicaciones es bidireccional, es decir que la estación maestra y las remotas pueden transmitir y recibir señales como se puede observar en la figura 3.4.

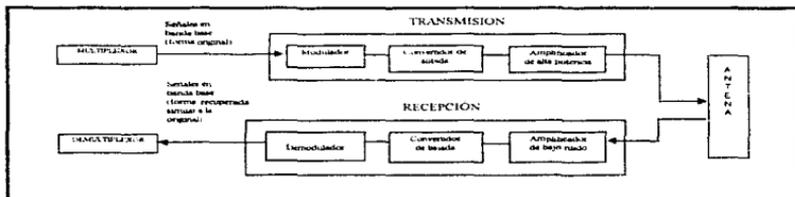


Figura 3.4. Diagrama a bloque generalizado de una estación terrena.

3.4.1.- Estación maestra

A continuación se describirán en forma detallada los equipo que conforman a la estación maestra Televisa Chapultepec, partiendo de la figura 3.5.

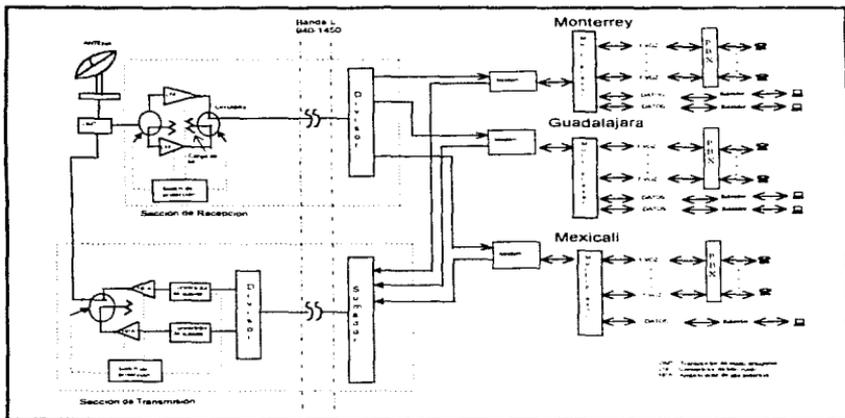


Figura 3.5. Diagrama a bloques de la estación maestra (Televisa Chapultepec).

Como se observa en la figura anterior, en la transmisión de señales en la E/T maestra se cuenta con una PBX para las señales de voz, en donde son conmutados como extensiones a las diferentes áreas dentro de la red y con ruteadores que direccionan los datos y los conduce de un nodo a otro dentro de la red, estos datos y señales de voz son transferidos a cada uno de los equipos multiplexores por división de tiempo (TDM's) correspondientes a las estaciones remotas.

3.4.1.1.- Equipo de transmisión

El equipo de transmisión, además del subsistema de banda base multiplexor y el equipo modem, está integrado por un par de convertidores ascendentes y amplificadores de alta potencia (HPA) operando en configuración redundante, los cuales se ubican en un contenedor cerca de la antena. Las portadoras de frecuencia intermedia provenientes de los moduladores, se trasladan en frecuencia de su banda nominal (950-1450 MHz) a la banda de radiofrecuencia que será transmitida al satélite. Un amplificador de alta potencia proporciona la amplificación final a las portadoras antes que se inyecte a la antena para su transmisión.

3.4.1.1.1.- Sistema de banda base

Tomando en cuenta el seguimiento que se hizo en la descripción y funcionamiento básico de una red de voz y datos, es decir, desde que se hace una llamada telefónica pasando a un conmutador, o desde que el procesador de datos pasa a través de un ruteador, que como su nombre lo indica direcciona e identifica correctamente la información y la envía al canal correspondiente del TDM el cual es un multiplexor por división de tiempo de n canales, diseñado para trabajar con señales de voz y datos, dependiendo del tipo de tarjeta empleado, para ser enviados en un solo canal de agregado. Todos los parámetros de operación, configuración de la red, tipos de canales de voz y datos, direcciones de enrutamiento de los canales y fallas del sistema, son controlados a través del software de administración (instalable en cualquier PC estándar) por el TDM de la estación maestra. Es posible configurar las tarjetas de los canales de voz y datos a diferentes velocidades tanto a la entrada como a la salida del multiplexor.

3.4.1.1.2.- Modulador/demodulador (Modem)

El equipo modem es una unidad digital y es seleccionada para operar tanto en la estación terrena maestra como en las estaciones remotas. La función de esta unidad es generar una portadora de frecuencia intermedia (banda-L) modulada por desplazamiento de fase (PSK).

Los módulos principales del modem son los que se muestran en la figura 3.6 y se describen a continuación.

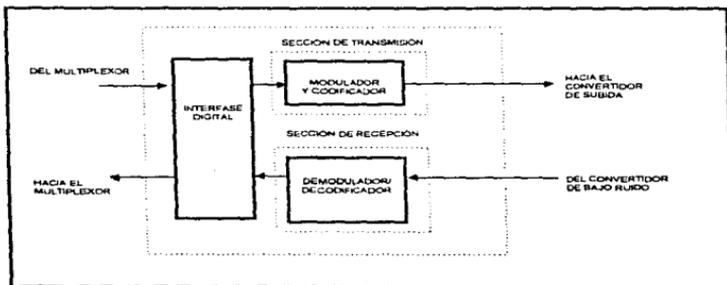


Figura 3.6. Diagrama a bloques del modem.

Interfase digital.- Esta etapa proporciona la interfase con las señales de datos de banda base, desde y hacia el equipo de multiplexación de canales. La unidad desempeña operaciones de transmisión y recepción de interfaces de banda base digital, acoplamiento entre señales de entrada y salida; y enrutamiento de señales entre las diferentes tarjetas de codificación/decodificación, del modulador y del demodulador.

Codificador.- En el módulo codificador, como su nombre lo indica, se efectúa la codificación de señales añadiendo bits de paridad que suministran redundancia en los datos transmitidos. Este módulo utiliza la técnica de corrección de errores convolucional con un factor de corrección por adelantado (FEC) de 1/2. Esta técnica consiste en asegurar una mayor confiabilidad a los mensajes transmitidos utilizando algoritmos que modifican la ubicación de los bits originales agregando otros, que permiten que el extremo receptor sea capaz de reconstruir el mensaje original, aún en el caso de que se hayan introducido errores durante la transmisión que afecten a una larga secuencia de bits. Mediante la codificación convolucional, cada bit de una secuencia del usuario es comparado con uno o más bits enviados con anterioridad.

Modulador.- Esta etapa recibe los datos codificados utilizándolos para modular una portadora que posteriormente se traslada a la banda de frecuencias L (950-1450 MHz). La modulación de la señal se realiza por el método de doble desplazamiento de fase (BPSK).

La señal modulada de salida se obtiene a partir de un sintetizador de frecuencia, el cual permite ajustar la frecuencia de salida en todo el rango de 950 a 1450 MHz, en pasos de 200 kHz. El sintetizador puede programarse en forma local o remota.

3.4.1.1.3.- Convertidor de subida

El convertidor de subida transfiere a la señal de FI (que dependiendo del sistema, puede tener una frecuencia central de 70 MHz, 140 MHz, 1 GHz o más) a una posición dentro del espectro radioeléctrico, en donde las nuevas frecuencias que la integran son mucho más altas que cuando salieron del modulador; por ejemplo, la nueva señal puede estar centrada aproximadamente a 6 GHz o 1 GHz. La señal tiene ahora las frecuencias apropiadas para poder ser radiada hacia el satélite, pero su nivel de potencia es aún muy bajo, por lo que es preciso amplificarla antes de entregársela a la antena.

3.4.1.1.4.- Amplificador de alta potencia (HPA)

El amplificador de alta potencia (HPA: *High Power Amplifier*) es utilizado como la etapa final de amplificación en la trayectoria de transmisión en las estaciones terrenas. Tiene como función amplificar las señales de RF provenientes de los convertidores de subida, a un nivel adecuado para la comunicación por satélite.

El amplificador de potencia consiste de un TWT (*Traveling Wave Tube*), un enfriador de expulsión, circuitos de guía de onda, circuitos de alimentación de energía y circuitos de control.

Como se observa en la figura 3.7, la descripción de la operación del HPA se divide en tres partes: un circuito de RF, comprendido por un circuito de guía de onda, una unidad IPA (amplificador de potencia intermedia) y un TWT.

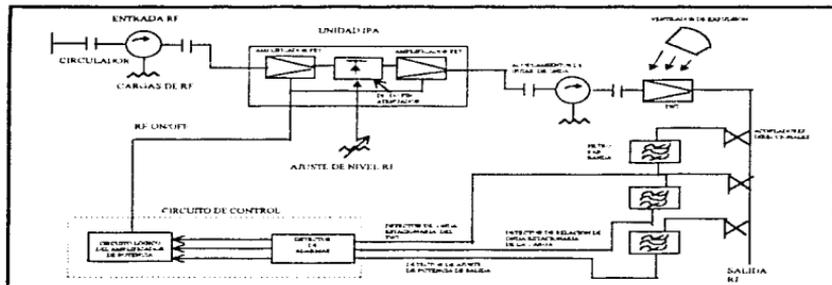


Figura 3.7. Diagrama a bloques del circuito de RF del HPA.

La señal de RF que llega del convertidor de subida se aplica a la unidad IPA a través de una guía de onda. La unidad IPA está compuesta de dos amplificadores FET (*Field Effect Transistor*) de etapas y un diodo *pin* atenuador.

La atenuación del diodo *pin* atenuador es controlada a más de 20 dB, continuamente, y la ganancia total del HPA es ajustada continuamente.

El circuito de polarización para los amplificadores FET es controlada para conmutar la energía de la salida de RF (encendido/apagado) hacia el circuito lógico del amplificador de potencia. La salida del IPA es muestreada a través del acoplador direccional para checar la operación del IPA. La subida del IPA es aplicada a la entrada de la guía de onda del TWT.

La señal proveniente de la unidad IPA es mandada al TWT, con un nivel de entre 500 mW, y 1 W a través de la guía de onda del TWT. Esta señal es amplificada en potencia de acuerdo a la capacidad del TWT para alcanzar el nivel de salida adecuado. Después, la señal de RF es mandada a la antena por medio de la guía de onda del amplificador de alta potencia.

El amplificador de potencia está instalado en una sola unidad, integrada por el tubo de ondas progresivas, las fuentes de alimentación necesarias, componentes de radio frecuencia, y los circuitos lógicos empleados para el control y monitoreo de los parámetros del amplificador. Las unidades están empacadas en un ensamble individual diseñado para montarse en un bastidor. El enfriamiento del tubo

y su fuente de alimentación se realiza mediante dos ventiladores que extraen el aire caliente del interior de la unidad.

3.4.1.1.5.- Sistemas de antenas

Una antena es un dispositivo destinado a la radiación o a la captación de ondas electromagnéticas, la función de las antenas es la de concentrar estas ondas de señal en la dirección deseada, lo suficiente para que la señal tenga un nivel adecuado y sea posible procesarla, es decir, que tenga la suficiente potencia para que pueda ser amplificada por LNA (amplificador de bajo ruido) o LNC (convertidor de bajo ruido) para la etapa de recepción. Las antenas son generalmente estructuras metálicas o arreglos de conductores, que son los encargados de realizar la función anterior.

La antena está localizada a la salida y a la entrada de los puntos transmisores y receptores en el trayecto de la señal, para transmitir eficientemente la frecuencia de la señal hacia su destino, y al mismo tiempo para recibir y alimentar eficientemente la débil señal que llega del satélite hacia el receptor. La antena tiene una importancia vital sobre las funciones operacionales en un sistema de transmisión o recepción.

La mayoría de los enlaces de comunicación via satélite usan en sus antenas reflectores parabólicos. El reflector es comúnmente iluminado por un pequeño alimentador localizado en el foco de la parábola. En la superficie parabólica todas las ondas electromagnéticas originadas del foco son reflejadas paralelamente al eje focal.

Para el caso que nos ocupa se seleccionará un tipo de antena Cassegrain, esta antena es de doble reflector, un reflector principal parabólico y un subreflector hiperbólico, en este sistema el alimentador primario o cometa no tiene su apertura orientada hacia el piso sino hacia arriba, por lo que el ruido que se introduce en las señales ya no es generada por los reflectores de la tierra, sino principalmente por emisiones de la atmósfera y está localizado en el vértice del reflector parabólico y es usado para iluminar un subreflector localizado entre el foco y el reflector principal, este subreflector proporciona iluminación al reflector paraboloide. El subreflector debe cumplir el requisito de ser una superficie hiperbólica.

3.4.1.1.6.- Descripción general y características principales de la antena

La antena está diseñada para transmitir y recibir señales en la banda Ku, y está constituida por un reflector parabólico, un subreflector hiperbólico, la estructura del soporte, un poste o pedestal principal y el alimentador de antena, tal y como puede observarse en la figura 3.8.

El reflector parabólico está formado por paneles de aluminio de alta precisión montados en el cilindro principal del soporte de la antena, el cual los mantiene en una sola unidad proporcionándoles una alta rigidez mecánica.

El subreflector hiperbólico se sujeta al reflector principal mediante cuatro soportes que lo mantienen ubicado al centro y a la distancia focal requerida.

El poste está construido de acero inoxidable, y en la parte superior sostiene al reflector mediante el mecanismo de posicionamiento de elevación. La parte inferior del pedestal incluye el pivote que permite el movimiento azimutal de la antena, el cual se fija al suelo preferentemente con una cimentación de concreto y anclajes.

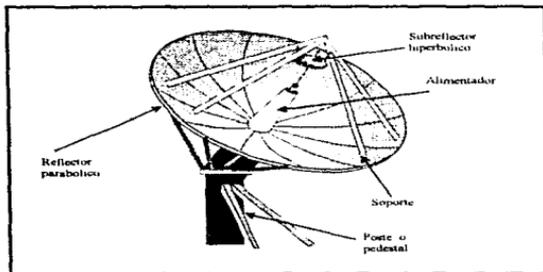


Figura 3.8. Antena de la estación maestra.

En la etapa de transmisión la antena es el último elemento del sistema de transmisión y tiene como función radiar la señal hacia el satélite.

Características principales de la antena:

- Patrón de lóbulos laterales de acuerdo a los requerimientos del arco orbital de satélites a dos grados.
- Reflector principal de aluminio, para lograr una máxima estabilidad térmica.
- Óptica de señales tipo Cassegrain de alta eficiencia.
- Mecanismo de posicionamiento en azimut/elevación que permite mayor precisión en el apuntamiento.

3.4.1.2.- Equipo de recepción

El equipo de recepción comprende los elementos destinados a recibir la señal procedente del satélite, amplificarla y procesarla para entregarla a los equipos terminales tanto de voz como de datos.

Este equipo está integrado por una antena que recibe las señales procedentes del satélite, los amplificadores de bajo ruido, que operan en configuración redundante, los convertidores descendentes que transfieren la información del espectro de radiofrecuencia a frecuencia intermedia, y los equipos modem que se encargan de demodular la señal para transmitirla al equipo de multiplexor como banda base y este último se encarga de distribuir los canales a los equipos terminales.

3.4.1.2.1.- Sistema de antena

La antena constituye el primer elemento del equipo de recepción, la cual tiene como función principal concentrar estas ondas de señal en la dirección de los amplificadores de bajo ruido, lo suficiente para que la señal tenga un nivel adecuado y sea posible procesarla, es decir, que tenga la suficiente potencia para que pueda ser amplificada por el LNA (amplificador de bajo ruido) o LNC (convertidor de bajo ruido) para la etapa de recepción.

Como se mencionó anteriormente, la antena que se utiliza es del tipo Cassegrain y las características se describieron anteriormente.

3.4.1.2.2.- Amplificador de bajo ruido LNA y convertidor de bajo ruido LNC

La función del amplificador de bajo ruido es amplificar la señal recibida por la antena, este funciona de manera similar al amplificador de bajo ruido del satélite, debido a que la señal recibida tiene una intensidad muy baja y es muy vulnerable ante cualquier ruido. La antena y el amplificador de bajo ruido son los elementos más importantes de una estación terrena receptora ya que ambos definen la calidad de operación.

Así como la ganancia es el parámetro más importante de la antena, la temperatura de ruido es el parámetro principal del LNA, mientras menor sea la temperatura de ruido mayor será la calidad de recepción, la suma de la temperatura de ruido de la antena y la del amplificador determinan la temperatura T de ruido del sistema.

De acuerdo con lo anterior, y como el nivel de potencia de la señal a su llegada a una estación terrena receptora es muy bajo, el amplificador de bajo ruido debe ser altamente sensible, es decir, que el ruido interno generado por él debe ser lo más bajo posible, si la temperatura física se logra reducir entonces la temperatura de ruido también baja, por lo tanto, es deseable enfriar el amplificador lo máximo posible, muchas veces hasta temperaturas cercanas al 0 absoluto.

La temperatura física del amplificador se puede controlar por diversos medios: refrigeración criogénica, termoelectrónica o por compensación de temperatura. La refrigeración criogénica incluye dispositivos con partes móviles, y consiste básicamente en un sistema de circulación de helio gaseoso, alcanzándose temperaturas cercanas a los -250°C .

Los sistemas de refrigeración termoelectrónica logran reducir la temperatura de los componentes sensibles del amplificador hasta unos -50°C , con la ventaja de que no requiere partes móviles, además de que se instala directamente dentro del dispositivo, lo que le da facilidad de mantenimiento.

En cuanto a la refrigeración por compensación de temperatura, la cual se utiliza cuando no es necesario que la temperatura de ruido sea muy baja, emplea sistemas de control más sencillos que los de refrigeración termoelectrónica y puede usarse a la temperatura ambiente. La mayor parte de los amplificadores de bajo ruido son paramétricos (su circuito de microondas emplea un diodo varactor)

pero en los últimos años se han desarrollado amplificadores con transistores de efecto de campo (FET) de arseniuro de galio (GaAs) que son más estables y menos complicados para alimentarlos de energía, aunque su temperatura de ruido es mayor. Generalmente las estaciones grandes utilizan amplificadores paramétricos y las pequeñas amplificadores FET.

Algunos fabricantes producen el amplificador LNA integrado al convertidor reductor de frecuencia en un solo bloque, ambos van contenidos dentro de la misma caja blindada y el producto se conoce como convertidor de bajo ruido (LNC) o como convertidor reductor de bloque de bajo ruido (LNB).

En la mayor parte de las estaciones terrenas receptoras el convertidor reductor se instala a unos 10 metros de distancia como máximo de LNA, con el fin de minimizar las pérdidas. La ventaja de un convertidor de bajo ruido es que el convertidor reductor va montado en la antena misma junto al LNA, pero la estabilidad de su oscilador local se puede alterar por temperaturas extremas del medio ambiente.

3.4.1.2.3.- Convertidor de bajada

La función del convertidor de bajada es transferir la información del espectro radioeléctrico a frecuencia intermedia de recepción, es decir, realizar el proceso inverso del convertidor de subida.

La conversión de reducción de frecuencia se puede hacer en un solo paso, como se observa en la figura 3.9, bajando de la frecuencia de llegada a la antena hasta frecuencia intermedia para posteriormente entregárselas al demodulador. Este mismo proceso se puede realizar en dos pasos, como se observa en la figura 3.10.

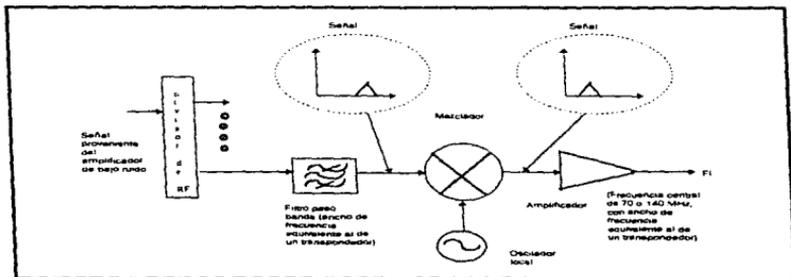


Figura 3.9. Convertidor de frecuencia en un solo paso.

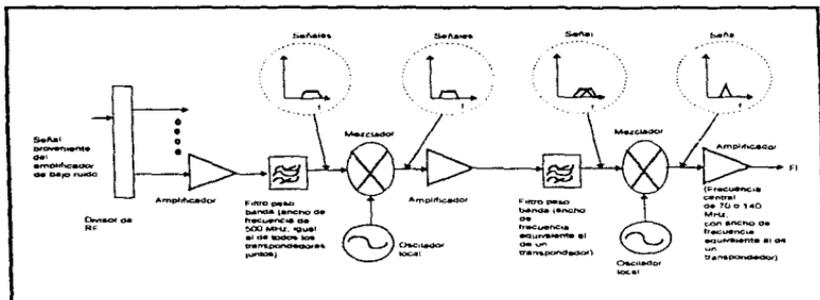


Figura 3.10 Conversión reductora de frecuencia en dos pasos.

3.4.1.2.4.- Descripción general del modulador/demodulador (Modem)

En el sentido de recepción, el modem demodula la señal, este procedimiento nos permite reconstruir la señal de datos original y consta de los siguientes módulos:

- * Demodulador.
- * Decodificador secuencial.
- * Interfase digital.

Demodulador - La tarjeta demoduladora recibe las señales en banda L provenientes de los convertidores de bajo nivel de ruido, efectuando una demodulación en fase para recuperar la señal de datos y el reloj asociado. Los niveles de señales de banda L pueden fluctuar entre los -60 y -90 dBm, y la frecuencia recibida es sintonizable en pasos de 100 kHz, ya sea mediante interruptores internos de la unidad ó en forma remota.

Decodificador secuencial - Para la parte receptora el modem utiliza la redundancia para eliminar la mayoría de los errores que son causados por el ruido térmico del enlace, bajo condiciones adversas, este decodificador utiliza la técnica de corrección de errores convolucional, con un factor de corrección por adelantado (FEC) de 1/2.

El funcionamiento de la interfase digital se describió en el módulo de transmisión.

3.4.1.2.5.- Demultiplexor

Este módulo está integrado en el mismo equipo que realiza la multiplexación, es por esto que es conocido en conjunto como mux/demux, el demux realiza el proceso inverso de multiplexación que consiste en recuperar las señales que se combinaron para formularla y restituir estas señales a los canales individuales que se conectan a los equipos terminales de voz y datos.

3.4.2.- Estaciones remotas

Las estaciones remotas están integradas por una antena pequeña, un ensamble de equipos de radiofrecuencia y la electrónica de banda base. Los elementos que comprenden el ensamble de RF son el alimentador, el transductor, el amplificador y los convertidores ascendente-descendente, los cuales son del tipo de operación en exterior y están instalados en el punto focal de las antenas. El equipo de banda base junto con el modem se ubican en el interior de la sala principal de equipos.

Tanto en la transmisión como en la recepción el equipo mux utilizado tiene las mismas características de operación que se utilizan en la estación maestra, excepto por su capacidad de procesamiento de información, mientras que el modem es idéntico al utilizado en la estación maestra. Considerando que ya han sido descritos anteriormente, nos avocaremos a describir solamente la unidad exterior de radiofrecuencia (ORU *Outdoor Radio-Frequency Unit*) y la antena en su modo de transmisión y recepción.

En las siguientes figuras (3.11, 3.12 y 3.13) se presentan los diagramas a bloques de las tres estaciones remotas que conforman nuestro diseño.

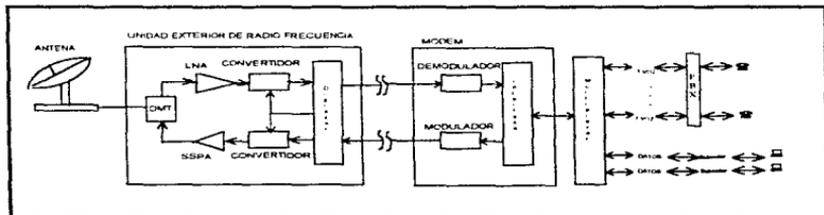


Figura 3.11. Diagrama a bloques de la estación remota (Televisa Monterrey).

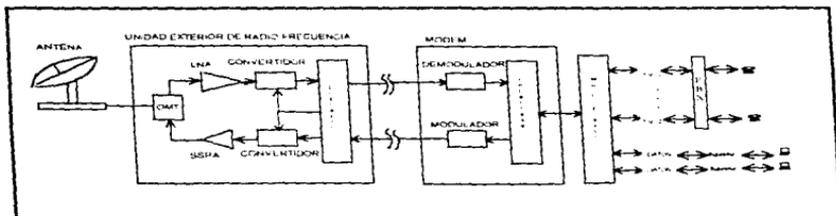


Figura 3.12. Diagrama a bloque de la estación remota (Televisa Guadalajara).

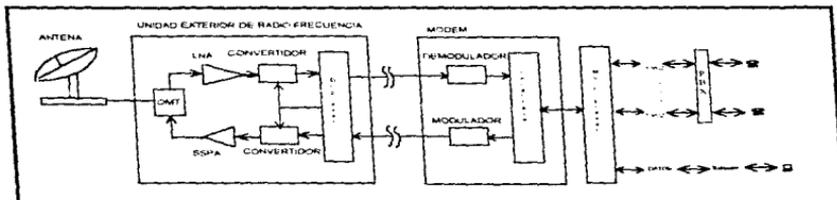


Figura 3.13. Diagrama a bloque de la estación remota (Televisa Mexicali).

3.4.2.1.- Sistema de transmisión

En las estaciones remotas se cuenta con una unidad exterior de RF (ORU), la cual proporciona conversión de frecuencia y amplificación de potencia a las señales de banda base. Esta unidad se encuentra montada en el punto focal de la antena e ilumina el reflector mediante un alimentador integrado.

En la figura 3.14 se observa un diagrama a bloques de la unidad de radiofrecuencia, destacándose sus principales componentes que son:

- Alimentador de antena.
- Amplificador de potencia.
- Convertidor ascendente.
- Convertidor descendente de bajo nivel de ruido.
- Módulo diplexor.

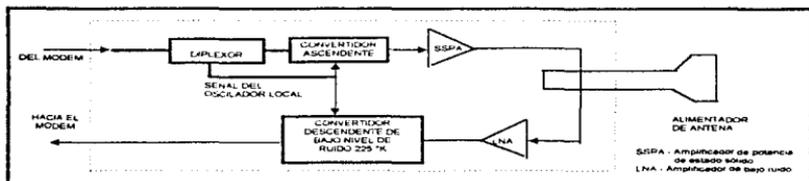


Figura 3.14. Diagrama a bloques de la unidad de RF.

Para el enlace ascendente la unidad está equipada con un amplificador de estado sólido (SSPA) con pocos Watts de potencia y un convertidor ascendente que traslada las señales de entrada a la banda de frecuencias Ku. Un controlador automático de nivel supervisa este proceso manteniendo el nivel de potencia de salida constante, durante condiciones operativas extremas.

3.4.2.1.1.- Diplexor

Las función de esta componente es la de proporcionar separación de las bandas de frecuencia para dos señales que se encuentren presentes simultáneamente sobre un mismo cable coaxial, denominado cable de interconexión de transmisión.

La pérdida de retorno se refieren al nivel de potencia de la señal que se transmite con respecto a la señal que se recibe, es decir, la señal que se recibe debe tener un nivel menor a 15 dB por debajo de la señal que se transmite.

3.4.2.1.2.- Convertidor ascendente

El convertidor ascendente proporciona una señal de salida en la banda de frecuencias de 14.0 a 14.5 GHz, cuando se le inyectan señales en la frecuencia intermedia de 950 a 1450 MHz, las cuales provienen de la tarjeta del diplexor/control automático de ganancia. El convertidor ascendente efectúa únicamente una conversión simple.

3.4.2.1.3.- Amplificador de estado sólido SSPA

El amplificador de estado sólido amplificará la salida del convertidor ascendente en la banda de 14.0 a 14.5 GHz, proporcionándole el nivel requerido con una potencia nominal máxima de 3.0 Watt. La salida del amplificador se inyecta al alimentador de la antena.

3.4.2.2.- Sistema de recepción

En el enlace descendente, la señal de entrada de la unidad de RF se origina en la corneta alimentadora de la antena. Un convertidor de bajo nivel de ruido proporciona la amplificación de señal requerida y la conversión de frecuencia. La salida de la unidad se interconecta con el equipo interior mediante rutas de cableados que incluyen cable coaxial de recepción, cable coaxial del oscilador local de transmisión y cable múltiple para señales de energía y monitoreo.

3.4.2.2.1.- Convertidor descendente de bajo nivel de ruido

Mediante esta unidad se efectúa una conversión fija simple de la banda de frecuencias de entrada 11,700 a 12,200 MHz trasladándola a la banda L de 950 a 1450 MHz. Este convertidor está compuesto por un amplificador de bajo nivel de ruido a base de transistores de efecto de campo, un filtro de rechazo, un mezclador de señales, oscilador sincronizado en fase y un amplificador de salida en banda L.

3.4.2.2.2.- Descripción de antena de una estación terrena remota

En la figura 3.15 se muestra una antena parabólica con alimentador frontal, que está compuesta de un reflector parabólico, el alimentador y la estructura de soporte. En una antena parabólica con alimentación frontal el eje del alimentador coincide con el eje de la antena, y la apertura por la que radia está orientada hacia el suelo, en la superficie parabólica todas las ondas electromagnéticas originadas del foco son reflejadas paralelamente al eje de la parábola.

El reflector parabólico está formado por paneles de aluminio de alta precisión montados sobre una estructura compuesta acoplada al soporte de la antena, el cual los mantiene en una sola unidad proporcionándoles una alta rigidez mecánica. El reflector parabólico es comúnmente iluminado por un pequeño alimentador localizado en el foco de la parábola principal por medio de cuatro soportes que lo mantienen en el centro y a la distancia focal requerida.

La estructura de soporte de la antena esta constituida por una base tipo tripie que soporta una plataforma donde se encuentran los mecanismos de movimiento de azimut y elevación de la antena.

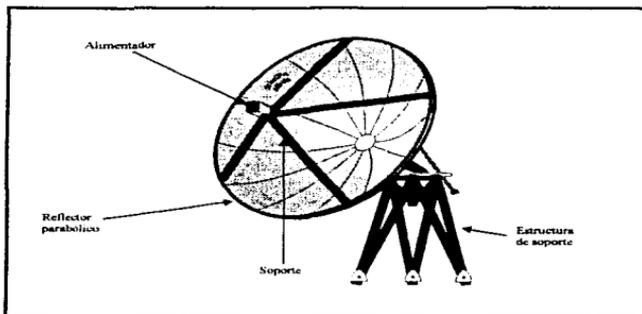


Figura 3 15. Antena de estación remota con alimentador frontal.

Las especificaciones o características particulares de los equipos que habrán de conformar a las estaciones remotas, se presentarán en el capítulo siguiente

Hasta este momento se ha hecho una descripción del procedimiento de un enlace de voz y datos vía satélite de forma general, se han descrito de forma somera las áreas administrativas más importantes de Televisa Chapultepec, así mismo se establecieron los requerimientos de comunicación de estas áreas, basándose en la teoría del tráfico de Erlang, con la finalidad de obtener mediante el cálculo pertinente el número de canales de voz, y mediante las consideraciones necesarias los de datos, requeridos para el diseño de la red aquí propuesta. Esta propuesta contempla la descripción de la red, al igual que las características generales del funcionamiento de la misma y del equipo de banda base requerido para esta. En el siguiente capítulo se concluirá el diseño de la red, es decir, se darán las características particulares de los equipos involucrados en la transmisión de la señal en base a los cálculos de los diferentes enlaces que se contemplan en este diseño.

**CÁLCULO
DE
ENLACE**

Un sistema de comunicaciones se caracteriza por la transmisión de señales de información con la mayor fidelidad posible de un punto transmisor a otro receptor. Como el caso que nos ocupa emplea un satélite, es necesario considerar varios factores que intervienen en el diseño y cálculos del enlace. Los parámetros que intervienen en el enlace son básicamente atenuaciones, temperaturas de ruido, potencias disponibles y ganancias de las antenas, por lo que es necesario estudiar por separado cada una de las partes que componen el sistema de comunicación, y que son: el satélite, que nos dará los lineamientos en el tipo de equipo de recepción y el equipo de transmisión a usar, los parámetros del sistema, la localización del satélite, la posición geográfica de la estación transmisora y receptora, la distancia entre el satélite y la estación terrena, el diámetro de las antenas, atenuación de señal por diversos factores, potencia disponible, etc..

El satélite tiene limitaciones en el suministro de potencia para el proceso y envío de señales, en tierra en cambio es más fácil subsanar estas deficiencias, utilizando altas potencias de transmisión para que la señal que llega al satélite tenga la potencia requerida para su adecuado procesamiento.

4.1 CÁLCULO DE ENLACE

El cálculo de enlace es un procedimiento matemático que nos permite evaluar la calidad de la señal existente en un canal de comunicación vía satélite considerando los niveles de potencia en todo el sistema.

El cálculo de enlace vía satélite nos permite obtener los valores de potencia necesaria para comunicar dos o más estaciones terrenas (E/T's), tomando en cuenta las consideraciones físicas relacionadas con el viaje de la señal por el espacio libre, con el tratamiento que recibe por parte de los equipos (entre ellos el satélite mismo), y a la ubicación geográfica de los puntos a comunicar.

En el contexto del diseño de redes satelitales, el cálculo de enlace constituye la base matemática para el dimensionamiento de los equipos que se utilizan en las E/T, en tanto que en la operación de redes, nos es útil para determinar la cantidad de potencia necesaria para que la comunicación entre dos o más E/T se realice con la calidad deseada.

En todo sistema de comunicación la presencia de ruido, que genera una degradación de la señal útil es algo inevitable. La relación portadora a ruido (C/N), define la diferencia existente entre la potencia de la señal que se transmite y la potencia de ruido existente en el sistema, ésta será utilizada como el indicador de la calidad de comunicación vía satélite.

La metodología de cálculo que emplearemos se basa en dividir al cálculo de enlace satelital en tres partes principales:

- a) Enlace ascendente.
- b) Enlace descendente.
- c) Evaluación del enlace.

Cada una de las partes anteriores conjuntan a una serie de conceptos físicos y procedimientos matemáticos con cierta independencia que nos permite manejarlos por separado, en las dos primeras partes se trata de obtener las relaciones (C/N) totales ascendente y descendente, en tanto que en la última parte se determina el margen del enlace.

El margen del enlace es el parámetro que nos indica la calidad total del enlace, que considera el nivel de potencia en el equipo receptor de acuerdo a una calidad esperada en la información recibida y la calidad de la información proporcionada por el enlace, en función de la potencia total de la portadora.

Cuando se diseña un enlace debe tomarse algún criterio de diseño que fije las condiciones para que el enlace opere satisfactoriamente, de ahí, que una vez establecido dichos criterios se considera si el margen del enlace es bueno o no; en caso de ser satisfactorio, se da por concluido el cálculo y se procede a la recuperación de los valores correspondientes a los parámetros más relevantes como son la PIRE de la E/T y la PIRE del satélite por portadora, esto es, las potencias controlables de nuestro enlace. Para el caso en que el margen del enlace no sea el adecuado se realiza nuevamente el cálculo bajo diferentes condiciones de potencia, para lo cual debemos cambiar el valor de la potencia con la que transmite la E/T, así hasta obtener los resultados deseados.

A continuación se mostrará en la tabla 4.1 las características más importantes que hay que considerar para realizar un cálculo de enlace con el satélite Solidaridad 1.

Características del satélite Solidaridad 1	
Satélite	Solidaridad 1
Longitud	109.2° oeste *
Bandas de operación	Ku
Tipo de transpondedor	4 K (24 MHz) (datos de tablas 2.1 x 2.2 del capítulo 2)
Región	4
Frecuencia de banda ascendente	14.25 GHz
Frecuencia de banda descendente	11.95 GHz
MIPDO (back off de entrada para multiportadoras)	8.5 dB **
MOPDO (back off de salida para multiportadoras)	4.0 dB **
ATP (atenuador de posición)	20 dB **
Características de la señal a transmitir	
Velocidad de información	128 kbps
Modulación	QPSK
Roll off	14 %
FEC (factor de código detector y corrector de errores)	1/2 ***
BER (tasa de bits erróneos)	1×10^{-3} ***
Eb/No (relación de energía de bit a densidad espectral de ruido)	6.6 dB ***

- * Ver apéndice C tabla 1.
 ** Ver apéndice C tabla 2.
 *** Características de modem.

Tabla 4.1. Datos generales del satélite y de la señal a transmitir.

En la tabla 4.2 se presentarán los datos de las estaciones terrenas, tomado en cuenta la transmisión y la recepción

Datos de las E/T's Transmisora y Receptora				
Localidad:	México	Guadalajara	Monterrey	Mexicali
Latitud:	19.35 ° *	20.40 ° *	25.40 ° *	32.65 ° *
Longitud:	99.01 ° *	103.20 ° *	100.19 ° *	115.45 ° *
Diámetro de antena:	7 m	4.5 m	4.5 m	4.5 m
Ganancia antena Tx:	58.16 dBi	54.32 dBi	54.32 dBi	54.32 dBi
Ganancia antena Rx:	56.63 dBi	52.79 dBi	52.79 dBi	52.79 dBi
Temperatura total del sistema:	23.44 dB °K	23.47 dB° K	23.47 dB° K	23.47 dB° K

* Ver apéndice C tabla 1.

Tabla 4.2. Datos de las estaciones terrenas Tx y Rx.

Para que exista comunicación entre dos ciudades o dos estaciones terrenas a través del satélite, es necesario diseñar el cálculo de enlace satelital de acuerdo a un formato oficial que proporciona Telecomm, en donde también nos proporcionan las expresiones necesarias para llevar a cabo el cálculo del enlace. Primeramente se tendrán que hacer algunos cálculos preliminares que son necesarios para entrar de lleno al cálculo de enlace.

4.1.1 Cálculos preliminares

Los cálculos preliminares son aquellos que nos generarán una serie de datos necesarios para el cálculo de enlace propiamente dicho, de acuerdo a esta metodología se calcula el ancho de banda, los ángulos de apuntamiento de azimut y elevación que presentarán las antenas, y la distancia entre la estación terrena y el satélite.

Para la realización de estos cálculos preliminares se tomará a México como la estación terrena transmisora y al satélite Solidaridad 1 como receptor.

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 la relación C/N. El dato de la distancia nos servirá para evaluar las pérdidas de potencia debidas a la dispersión de la energía en la trayectoria de propagación, para obtener este parámetro necesitamos conocer el ángulo de elevación, por lo que éste se evalúa. En lo que respecta al ángulo de azimut, se calcula como complemento al ángulo de elevación para tener completa la referencia y estar en condiciones de apuntar una antena hacia el satélite, aunque restaría hacer la consideración debido a la declinación magnética. La declinación magnética es la desviación en grados que existe entre el norte geográfico y el norte magnético que nos da una brújula, la declinación magnética es positiva hacia el este y negativa hacia el oeste con respecto al polo norte.

Ancho de banda

Para el cálculo de enlace comenzaremos por calcular el ancho de banda (BW), ya que este parámetro se utilizará para calcular la relación a ruido ascendente, descendente y otros parámetros involucrados en el cálculo. El ancho de banda está relacionado con el tipo de servicio a cursar, ya que por ejemplo el video requiere de un ancho de banda mayor que la voz y datos, también está relacionado con la velocidad de información, el factor de modulación, el factor de respuesta del equipo transmisor y con el factor de código detector y corrector de errores también de nuestro equipo.

El ancho de banda (BW) se calcula con la siguiente expresión:

$$BW = V_{inf} (FEC)^{-1} (FM) (1 + \text{Roll Off}) \quad (\text{Hz})$$

donde:

V_{inf}	=	Velocidad de información (128 kbps).
FEC	=	Factor debido al código de corrección de errores por adelantado que es $1/2$ (de cada dos bits uno es para detectar y corregir errores).
FM	=	Factor de modulación, su valor depende de la modulación empleada. Para nuestro caso la modulación es BPSK, entonces el parámetro FM = 1.0 (según procedimiento de Telcomm).
Roll Off	=	Este es un valor que está relacionado con la función de respuesta de un filtro, esta es una característica de los modems, el valor tomado es 0.14.

Con estos valores calcularemos el ancho de banda ocupado (BW_{ocu}), siendo éste el espacio en frecuencia que utilizaremos para el cálculo de enlace.

El ancho de banda ocupado se calcula basándose en la expresión BW, por lo que sustituyendo valores tenemos:

$$BW_{ocu} = 128\,000 (1/2)^{-1} (1) 1.14$$

obteniendo como resultado:

$$BW_{ocu} = 291.84 \text{ kHz}$$

Para el cálculo del ancho de banda asignado (BW_{asign}), que corresponde a la asignación de las frecuencias operativas de los enlaces, se calcula con la siguiente expresión:

$$BW_{asign} = BW_{ocu} \times f_{asign}$$

donde f_{asign} es el factor de asignación, el cual es un factor proporcionado por Telecomm para obtener el ancho de banda operativo del enlace, sustituyendo valores, el ancho de banda asignado es:

$$BW_{\text{ASIGN}} = 291.84 \times 1.37$$

dando como resultado:

$$BW_{\text{ASIGN}} = 399.82 \text{ kHz}$$

Apuntamiento de la antena

Para calcular el ángulo de azimut (A') para la estación terrena México, se utiliza la siguiente expresión:

$$A' = \text{Tan}^{-1} \left(\text{Tan} [\text{ABS} (\text{LONG}_{\text{SAT}} - \text{LONG}_{\text{ET}})] / \text{Sen} \text{LAT}_{\text{ET}} \right)$$

donde:

LONG_{SAT}	=	Longitud del satélite 109.2 ° (ver apéndice C tabla 1).
LONG_{ET}	=	Longitud de la estación terrena 99.01 ° (ver apéndice C tabla 1).
LAT_{ET}	=	Latitud de la estación terrena 19.35 ° (ver apéndice C tabla 1).
ABS	=	Valor absoluto.

Para hacer este cálculo debemos tomar en cuenta que:

Si la E/T se ubica en el hemisferio Norte y al oeste del satélite:	A	=	180 - A'
Si la E/T se ubica en el hemisferio Norte y al este del satélite:	A	=	180 + A'
Si la E/T se ubica en el hemisferio Sur y al oeste del satélite:	A	=	A'
Si la E/T se ubica en el hemisferio Sur y al este del satélite:	A	=	360 - A'

sustituyendo los valores para la estación terrena México tenemos que:

$$A' = \text{Tan}^{-1} \left(\text{Tan} [\text{ABS} (109.2 - 99.01)] / \text{Sen} 19.35 \right)$$

obteniendo como resultado:

$$A' = 28.47^\circ$$

Ahora procederemos a calcular el ángulo de elevación (E), para E/T México, para ello utilizaremos la siguiente expresión:

$$E = \text{Tan}^{-1} [(R - R_e(w) / (R_e \text{Sen} (\text{Cos}^{-1} w))) - \text{Cos}^{-1} w]$$

donde:

- R = Distancia promedio del centro de la tierra a la órbita geoestacionaria (42.164.2 km)
 Re = Radio promedio de la tierra (6378.155 km)
 w = $\text{Cos LAT}_{E/T} (\text{Cos} [\text{LONG}_{\text{SAT}} - \text{LONG}_{E/T}])$ = Valor intermedio para fines de cálculo.

Como se observa primero tenemos que calcular w, sustituyendo los valores tenemos que :

$$w = \text{Cos } 19.35 \text{ Cos } [109.2 - 99.01]$$

dando como resultado lo siguiente

$$w = 0.9286$$

Considerando el resultado anterior, el ángulo de elevación (E) para la E/T México es, sustituyendo los valores en la expresión anteriormente mencionada:

$$E = \text{Tan}^{-1} [(42164.2 - 6378.155 (0.9286)) / (6378.155 (\text{Sen} (\text{Cos}^{-1} 0.9286)))] - \text{Cos}^{-1} 0.9286$$

obteniendo como resultado que el ángulo de elevación es:

$$E = 64.48^\circ$$

Distancia entre la E/T México y Solidaridad 1

En esta sección se calculará la distancia de la estación terrena al satélite, la cual está dada por la siguiente expresión:

$$D = \{ R^2 + R_e^2 - (2 R (R_e) \text{Sen} (E + \text{Sen}^{-1} ((R_e / R) \text{Cos} E))) \}^{1/2}$$

donde:

- R = Distancia promedio del centro de la tierra al satélite (42164.2 km)
 Re = Radio promedio de la tierra (6378.155 km)
 E = Ángulo de elevación (64.48 °)

al sustituir los valores en la expresión tenemos:

$$D = \{ (42164.2)^2 + (6378.155)^2 - (2 (6378.155) (42164.2) \text{Sen} (64.48 + \text{Sen}^{-1} ((6378.155 / 42164.2) \text{Cos } 64.48))) \}^{1/2}$$

obteniendo como resultado:

$$D = 36318.131 \text{ km}$$

Con los datos obtenidos hasta este momento, continuaremos con los cálculos pertinentes para el enlace ascendente

4.1.2 Enlace ascendente

En la parte del cálculo ascendente se evalúa $C/N_{ASCOTOTAL}$, que constituye la calidad del enlace en la comunicación entre la E/T transmisora México D. F. y el satélite como receptor, tomado en cuenta a las diferentes relaciones de interferencia que degradan el comportamiento del enlace.

Primeramente se evaluará la relación C/N_{ASC} , es decir, la relación de potencia de la portadora respecto del ruido propio del equipo receptor del satélite, en el que interviene la potencia de transmisión de la estación terrena conocida como PIRE (potencia isotrópica radiada equivalente), las pérdidas debidas a la dispersión, la absorción de energía por parte de la atmósfera, la pérdida por apuntamiento, la diferencia en alineación de las polaridades del satélite y la E/T, la atenuación que produce la lluvia y las características de ruido y ganancia del satélite.

Para el enlace ascendente se utilizarán las características del satélite para calcular el $PIRE_{ET}$, el cual será el valor necesario para establecer el enlace de la E/T al satélite. Posteriormente para la evaluación del enlace se calculará la potencia en el HPA utilizando como parámetros la Ganancia de la antena transmisora, las pérdidas en el equipo y el $PIRE_{ET}$ calculado en el enlace ascendente.

Posteriormente se evaluarán las diferentes relaciones de interferencia que afectan al enlace ascendente, como son:

C/I o razón de potencia de portadora respecto de la potencia del ruido de intermodulación en el HPA de la E/T transmisora.

C/X_{pol} o razón de potencia de portadora respecto de las señales en la polaridad contraria que van hacia el mismo satélite.

C/X_{satady} o razón de potencia de portadora respecto de señales que van dirigidas hacia los satélites colindantes al oeste u este, que por condiciones del patrón de radiación de las antenas de tierra en transmisión son dirigidas al satélite.

Los valores que adopta cada una de las relaciones de interferencia anteriores, varían en función a la densidad de potencia que tiene la portadora de comunicación respecto del número de portadoras procesadas con ella, en el mismo amplificador de la E/T donde se transmite (C/I), o de la existencia o no el reuso de frecuencia en el satélite (C/X_{pol}) y del tipo de tráfico que comparte

la misma banda de frecuencia y polaridad en los satélites colindantes, aunado con el patrón de radiación de las antenas que funcionan con esos sistemas (C/Xsatady).

La relación $C/N_{ASCENTOT}$ considera todos los aspectos mencionados anteriormente, cabe aclarar que si es mayor el valor de la potencia de la portadora, respecto del ruido de intermodulación, interferencia por polarización cruzada e interferencia por satélite adyacente, es mejor el desempeño del enlace.

Relación portadora a densidad de ruido ascendente

Se iniciará con el cálculo de la relación de portadora a la densidad del ruido ascendente, el cual se calcula con la siguiente expresión.

$$(C/N_o)_{asc} = PIRE_{ET} + (G/T)_{SAT} - K - L_{S_{asc}} - \mu_{asc} - L_{\Delta_{asc}}$$

donde:

$PIRE_{ET}$	=	Potencia isotrópica radiada equivalente desde la E/T.
$(G/T)_{SAT}$	=	9.3 dB/°K (Figura de mérito del satélite, característica del satélite que se puede consultar en la tabla 1 apéndice C)
K	=	-228.6 (dBJ/°K) (Constante de Boltzman)
$L_{S_{asc}}$	=	Pérdidas en el espacio libre ascendente
μ_{asc}	=	4.2 dB (Margen de atenuación por lluvia para la región 4 para la banda Ku, para una disponibilidad de 99.8%, ver apéndice C tabla 3)
$L_{\Delta_{asc}}$	=	1 dB es su valor aproximado (Pérdidas misceláneas, es la sumatoria de las pérdidas atmosféricas, apuntamiento y de polarización)

Primero procederemos a hacer el cálculo del PIRE. Partiendo que es un valor isotrópico equivalente se utiliza como referencia ideal para facilitar los cálculos. Para este cálculo partiremos de la siguiente expresión:

$$PIRE_{ET} = DFS + L_p + ATP + PPBW - MIPBO$$

donde:

DFS	=	-100.80 dBW / m ² (Densidad de flujo de saturación de entrada requerido para saturar un transpondedor del satélite, ver apéndice C tabla 1).
L_p	=	Pérdidas por dispersión, la cual se calcula con la siguiente expresión:

$$L_p = 10 \log (4 \pi d^2)$$

donde:

$$d = 36318.131 \text{ km (distancia de la estación terrena al satélite)}$$

ATP	=	20 dB (Atenuador de posición; ver apéndice C tabla 2)
PPBW	=	Parte proporcional del ancho de banda, que se calcula con la expresión:
PPBW	=	$10 \text{ LOG} (BW_{\text{OCU}} / BW_{\text{TP}})$

donde:

BW_{TP}	=	54 MHz Ancho de banda del transponder utilizado
MIPBO	=	8.5 dB (back off de entrada del satélite, ver apéndice C tabla 2)

sustituyendo valores para las expresiones correspondientes a L_p y PPBW tenemos:

$$L_p = 10 \log (4 (3.1416) (36318131)^2)$$

con lo que se obtiene el siguiente resultado:

$$L_p = 162.19 \text{ dBm}^2$$

$$PPBW = 10 \log (291.84 \times 10^3 / 54\,000\,000)$$

obteniéndose como resultado:

$$PPBW = -22.67 \text{ dB}$$

Como ya tenemos todos los datos requeridos, procederemos a calcular el PIRE_{E/T}, sustituyendo valores:

$$\text{PIRE}_{E/T} = -100.80 + 162.19 + 20 + (-22.67) = 8.5$$

$$\text{PIRE}_{E/T} = 50.22 \text{ dBW}$$

Pérdidas en el espacio libre ascendentes

A continuación calcularemos las pérdidas en el espacio libre ascendente, basados en la siguiente expresión:

$$L_{\text{asc}} = 20 \text{ Log} ((4 \pi \times F \times D) / C)$$

donde:

F	=	Frecuencia ascendente (14.25 GHz)
D	=	Distancia entre la E/T y el satélite (36318.131 km)
C	=	Velocidad de la luz (3 E 8 m/s)

con lo que sustituyendo valores:

$$L_{\text{asc}} = 20 \text{ Log} ((4 \pi (14.25 \times 10^9) (36318.131 \times 10^3)) / 3 \times 10^8)$$

Se tiene como resultado:

$$L_{S_{asc}} = 206.72 \text{ dB}$$

Considerando los datos anteriores y con base en la expresión para el cálculo de la relación portadora a densidad de ruido ascendente tenemos:

$$(C/N_o)_{asc} = 50.22 + 9.3 - (-228.6) - 206.72 - 4.2 - 1$$

$$(C/N_o)_{asc} = 76.2 \text{ dB - Hz}$$

Relación portadora a ruido ascendente

Con estos valores calcularemos la relación portadora a ruido ascendente, esta relación se calcula con la siguiente expresión:

$$(C/N)_{Asc} = (C/N_o)_{Asc} - 10 \log (BW)$$

como ya tenemos los valores requeridos, sustuiremos estos para obtener:

$$(C/N)_{Asc} = (76.2) - 10 \log (291.84 \times 10^3)$$

dando como resultado:

$$(C/N)_{Asc} = 21.55 \text{ dB}$$

Relación portadora a ruido ascendente total

Ahora procederemos a calcular el parámetro de relación de portadora a ruido ascendente total $(C/N)_{ASCTOTAL}$. Para obtener esta relación utilizaremos la siguiente expresión:

$$(C/N)_{ASCTOTAL} = 10 \log \left[\frac{1}{\log \left[\frac{C}{N_{asc}} \right]_{10}} + \frac{1}{\log \left[\frac{C}{I} \right]_{10}} + \frac{1}{\log \left[\frac{C}{X_{pol}} \right]_{10}} + \frac{1}{\log \left[\frac{C}{X_{astady}} \right]_{10}} \right]$$

donde:

C/I Intermodulación ascendente, la cual es calculada con la siguiente expresión:

$$C/I = - (C/I)_0 - IPBO_i - 10 \log (BW)$$

donde:

IPBO_i = Es el back off de entrada por portadora que se calcula como se indica a continuación:

$$IPBO_i = DFS - PIRE_{ET} + Lp_{asc} + ATP + L_{ATM} + \mu_{asc}$$

Como estos datos ya han sido descritos y calculados anteriormente, tenemos que:

$$IPBO_i = -100.80 - 50.22 + 162.19 + 20 + 1 + 4.2$$

dando como resultado:

$$IPBO_i = 36.37 \text{ dB}$$

El valor (C/I_0) que se encuentra en la expresión C/I es el parámetro de densidad de interferencia de intermodulación que se obtiene de tablas (ver apéndice C tabla 2) y está relacionado con el enlace ascendente, con la banda de operación y además con el transpondedor, de acuerdo a la parte ascendente del sistema. Obteniendo el valor de tablas $C/I_0 = -106.0 \text{ dB} - \text{Hz}$

sustituyendo todos los datos

$$C/I = -(-106.0) - 36.67 - 10 \log(291.84 \times 10^3)$$

$$C/I = 14.97 \text{ dB}$$

C/X es la polarización cruzada ascendente, la cual es calculada con la siguiente expresión

$$C/X \text{ pol} = -(C/X_0) - IPBO_i - 10 \text{ LOG}(\text{BW})$$

donde:

$(C/X_0) = -112.6 \text{ dB} - \text{Hz}$, la cual es la densidad de potencia por polarización cruzada, que está relacionada con el enlace ascendente, con el transpondedor utilizado, la banda empleada y el sistema de acceso usado. Este valor es tomado de tablas (ver apéndice C tabla 2).

Por lo que sustituiremos valores en la expresión:

$$C/X \text{ pol} = -(-112.6) - 36.37 - 10 \log(291.84 \times 10^3)$$

que da como resultado:

$$C/X \text{ pol} = 21.57 \text{ dB}$$

C/X = Satélite adyacente ascendente, es calculado con la expresión siguiente:

$$C/X_{\text{satdy}} = - C/X_s - \text{IPBOi} - 10 \log (\text{BW})$$

$C/X_s = - 122.5$ dB - Hz, la cual es la densidad de interferencia por satélites adyacentes, este valor es obtenido de tablas (ver apéndice C tabla 2) está relacionado con el enlace ascendente, teniendo todos los valores en la expresión tendremos

$$C/X_{\text{satdy}} = - (- 122.5) - 36.37 - 10 \log (291.84 \times 10^3)$$

$$C/X_{\text{satdy}} = 31.47 \text{ dB}$$

Una vez obtenidos todos los datos necesarios, procederemos a sustituirlos en la expresión siguiente para calcular la relación (C/N) ascendente total.

$$(C/N)_{\text{ASC TOTAL}} = 10 \log \left[\frac{1}{\log \left[\frac{21.55}{10} \right]} + \frac{1}{\log \left[\frac{14.97}{10} \right]} + \frac{1}{\log \left[\frac{21.57}{10} \right]} + \frac{1}{\log \left[\frac{31.47}{10} \right]} \right]$$

realizando las operaciones pertinentes se obtiene que:

$$(C/N)_{\text{ASC TOTAL}} = 13.32 \text{ dB}$$

Ahora procederemos a calcular las expresiones necesarias para el enlace descendente.

4.1.3 Enlace descendente

En la parte descendente se evalúa la relación $C/N_{\text{DESC TOTAL}}$, que constituye la calidad del enlace descendente en la comunicación. Este enlace se calculará entre el satélite y la E/T receptora Monterrey, que toma en cuenta las diferentes relaciones de interferencia que degradan el comportamiento del enlace al descenso.

Primeramente se evalúa la relación C/N , es decir, la relación de potencia de la portadora respecto del ruido propio del equipo receptor de la E/T receptora, en el que intervienen la potencia de transmisión del satélite conocida como PIRE (Potencia isotrópica radiada equivalente) de satélite por portadora, las pérdidas debidas a la dispersión, la absorción de energía de las polaridades del satélite y la E/T, a la atenuación que produce la lluvia y a las características de ruido y ganancia de la E/T receptora.

Posteriormente se evaluarán las relaciones de interferencia que afectan al enlace descendente como son:

C/I o razón de potencia de portadora respecto a la potencia del ruido de intermodulación en el amplificador del satélite donde se tratará la señal en particular.

C/X pol o razón de potencia de portadora a las señales en la polaridad contraria que parten del mismo satélite hacia tierra en la misma frecuencia.

C/X satady o razón de potencia de portadora respecto de señales que provienen de los satélites colindantes al este y oeste, que por condiciones del patrón de radiación de las antenas de tierra en recepción y a la coincidencia de coberturas en las mismas frecuencias y polaridad entran a nuestra E/T receptora.

Los valores que adopta cada una de las relaciones de interferencia anteriores, varían en función de la densidad de potencia que tiene nuestra portadora de comunicación, respecto del número de portadoras procesadas con ella en el mismo transpondedor de satélite donde se transmite (C/I), si existe o no el reuso de frecuencia en el satélite (C/X pol) y del tipo de tráfico que compare la misma banda de frecuencia, cobertura y polaridad con los satélites colindantes, aunado con el patrón de radiación de nuestra receptora que funcionan en nuestro sistema (C/X satady).

La relación $C/N_{DESCTOTAL}$, considera todos los aspectos antes mencionados, cabe aclarar que en tanto mayor sea el valor de la potencia de la portadora, respecto del ruido, intermodulación, interferencia por polarización cruzada e interferencia por satélite adyacente, es mejor el desempeño del enlace.

A continuación se harán los cálculos pertinentes para realizar el enlace descendente de la estación terrena Monterrey. Comenzando por la relación portadora a densidad de ruido descendente.

$$(C/N_0)_{desc} = PIRE_{SAT} + (G/T)_{ET} - K - L_{S_{desc}} - \mu_{desc} - L_{\Delta_{desc}}$$

donde:

$PIRE_{SAT}$	=	PIRE de satélite por portadora
$(G/T)_{ET}$	=	Característica de la estación terrena receptora
K	=	Constante de Boltzman = -228.6 (dBJ/°K)
$L_{S_{desc}}$	=	Pérdidas en el espacio libre descendentes
μ_{desc}	=	2.2 dB para una disponibilidad del 99.8 %, este parámetro es el margen de atenuación por lluvia descendente (ver apéndice C tabla 3)
$L_{\Delta_{desc}}$	=	Pérdidas misceláneas, es la sumatoria de las pérdidas atmosféricas, apuntamiento y de polarización su valor aproximado es de 1 dB.

Realizaremos primero el cálculo de la PIRE del satélite por portadora utilizando la siguiente expresión:

$$PIRE_{SAT} = DFS_{TX} - ATP + MIPBO - L_{p_{desc}} + PIRE_{ET} - MOPBO + PIRE_{SATU(RX)}$$

donde:

DFS _{TX}	=	-100.8 dBW/m ² (densidad de flujo de saturación desde el satélite hacia la localidad Tx, tomado de apéndice C tabla 1).
ATP	=	20 dB (ver apéndice C tabla 3).
MIPBO	=	8.5 dB (ver apéndice C tabla 3).
Lp _{desc}	=	10 log (4 π X D ²), donde D es la distancia entre la estación terrena de Monterrey y el satélite. D = 36586715 m, por lo tanto Lp _{desc} = -162.26 dBm ²
PIRE _{E/T}	=	50.22 dBW, es el valor de la estación terrena calculado en el enlace ascendente.
MOPBO	=	4 dB (ver apéndice C tabla 3).
PIRE _{SATUR(X)}	=	49.1 dBW, es la PIRE de saturación desde el satélite hacia la localidad Rx (ver apéndice C tabla 1).

Sustituyendo cada valor en la expresión del PIRE_{SAT}

$$\text{PIRE}_{\text{SAT}} = - (-100.8) - 20 + 8.5 - 162.25 + 50.22 - 4 + 49.1$$

obteniendo como resultado:

$$\text{PIRE}_{\text{SAT}} = 22.36 \text{ dBW}$$

Las pérdidas por espacio libre descendente se calculan de la siguiente manera:

$$L_{\text{S desc}} = 20 \log ((4 \pi F X D) / C)$$

donde:

F	=	Es la frecuencia tomada para el cálculo descendente. F= 11.95 GHz.
D	=	Es la distancia entre el satélite y la estación terrena de Monterrey.
C	=	3 X 10 ⁸ , es la velocidad de la luz.

sustituyendo:

$$L_{\text{S desc}} = 20 \log ((4 \pi (11.95 \times 10^9)) / (3 \times 10^8))$$

dando como resultado:

$$L_{\text{S desc}} = 205.25 \text{ dB}$$

Ahora procederemos a calcular la Figura de mérito de la E/T ubicada en Monterrey, la cual se obtiene con la siguiente expresión:

$$(G/T)_{ET} = G_{RX} - 10 \log (T_s)$$

donde:

G_{RX} = Es la ganancia de la antena de la E/T receptora y se calcula con la siguiente expresión:

$$G_{RX} = 10 \log (0.6 (\pi D / \lambda)^2)$$

donde:

D = D = 4.5 m, es el diámetro de la antena de la E/T receptora
 λ = C/F = longitud de onda, donde $C = 3 \times 10^8$ m/s (velocidad de la luz) y $F = 11.95$ GHz, esta última es la frecuencia para el cálculo descendente.

sustituyendo valores:

$$G_{RX} = 10 \log (0.6 (\pi (4.5) / (0.0251))^2)$$

obteniendo que:

$$G_{RX} = 52.79 \text{ dB}$$

Ahora procederemos a calcular la temperatura del sistema, la cual se obtiene con la siguiente expresión:

$$T_s = T_a + T_{LNA}$$

donde:

T_a = Es la temperatura de ruido de la antena, valor tomado de especificaciones eléctricas de la antena. $T_a = 22.41$ °K

T_{LNA} = Es la temperatura de ruido del amplificador de bajo ruido, valor tomado de especificaciones eléctricas del LNA. $T_{LNA} = 200$ °K.

sustituyendo valores tenemos que:

$$T_s = 222.41 \text{ °K}$$

calculando la expresión para la Figura de mérito, tenemos que:

$$(G/T)_{ET} = 52.79 - 10 \log (222.41)$$

obteniendo como resultado que:

$$(G/T)_{ET} = 29.32 \text{ dB °K}$$

Considerando los datos anteriores, y con base en la expresión para el cálculo de la relación portadora a densidad de ruido descendente, tenemos que sustituyendo valores:

$$(C/No)_{desc} = 22.36 + 29.32 - (-228.6) - 205.25 - 0 - 1$$

obteniendo como resultado:

$$(C/No)_{desc} = 74.02 \text{ dB - Hz}$$

Relación portadora a ruido descendente

Este parámetro se calcula con la siguiente expresión:

$$(C/N)_{desc} = (C/No)_{desc} - 10 \log (BW_{ocu})$$

como contamos con todos los valores requeridos procederemos a sustituirlos:

$$(C/N)_{desc} = (74.02) - 10 \log (291.84 \times 10^3)$$

dando como resultado:

$$(C/N)_{desc} = 19.37 \text{ dB}$$

Relación portadora a ruido descendente total

Ahora procederemos a calcular el parámetro de relación de portadora a ruido descendente total $(C/N)_{DESCTOTAL}$. Para obtener esta relación utilizaremos la siguiente expresión:

$$(C/N)_{DESCTOTAL} = 10 \log \left[\frac{1}{\text{alog} \left[\frac{C}{N_{desc}} \right]_{10}} + \frac{1}{\text{alog} \left[\frac{C}{I} \right]_{10}} + \frac{1}{\text{alog} \left[\frac{C}{X_{pot}} \right]_{10}} + \frac{1}{\text{alog} \left[\frac{C}{X_{atady}} \right]_{10}} \right]$$

donde:

C/I = Intermodulación descendente, la cual es calculada con la siguiente expresión:

$$C/I = - (C/I_0) - OPBO_i - 10 \log (BW)$$

donde:

El valor $(C/I_0) = -94.2$ dB que se encuentra en la expresión C/I, es el parámetro de densidad de interferencia de intermodulación que se obtiene de tablas (apéndice C tabla 2) y está relacionado con el enlace descendente, con la banda de operación y además con el transpondedor, de acuerdo a la parte ascendente del sistema.

OPBOi es el back off de salida por portadora, el cual se calcula con la siguiente expresión:

$$OPBOi = MOPBO - MIPBO + IPBOi$$

Como estos datos ya han sido descritos y calculados anteriormente, tenemos que:

$$OPBOi = 4 - 8.5 + 36.37$$

dando como resultado:

$$OPBOi = 31.87 \text{ dB}$$

sustituyendo:

$$C/I = - (-94.2) - 31.87 - 10 \log (291.84 \times 10^3)$$

$$C/I = 7.67 \text{ dB}$$

C/X pol = Es la polarización cruzada descendente, la cual se calcula con la siguiente expresión:

$$C/X \text{ pol} = - (C/X_0) - OPBOi - 10 \text{ LOG} (BW)$$

donde:

$C/X_0 = -106.5$ dB - Hz, la cual es la densidad de potencia por polarización cruzada que está relacionada con el enlace descendente, con el transpondedor utilizado, la banda empleada y el sistema de acceso usado. Este valor es tomado de tablas de Telecomm (ver apéndice C tabla 2).

Por lo que sustituyendo valores en la expresión:

$$C/X \text{ pol} = - (-106.5) - 31.87 - 10 \log (291.84 \times 10^3)$$

dando como resultado:

$$C/X \text{ pol} = 19.97 \text{ dB}$$

C/Xsatady = Satélite adyacente descendente es calculada con la expresión siguiente:

$$C/N \text{ satady} = \text{PIRE sat} - (C/N_s - G \text{ ant}_{RX}) - 10 \log (\text{BW})$$

donde:

$C/N_s = -12 \text{ dB} - \text{Hz}$, la cual es la densidad de interferencia por satélites adyacentes, este valor es obtenido de tablas (ver apéndice C tabla 2) y está relacionado para el enlace descendente.

$G \text{ ant}_{RX}$ = Es la ganancia de la antena de la estación receptora.

teniendo todos los valores en la expresión tendremos

$$C/N \text{ satady} = 22.36 - (-12 - 52.79) - 10 \log (291.84 \times 10^3)$$

$$C/N_{\text{satady}} = 32.5 \text{ dB}$$

Una vez obtenidos todos los datos necesarios, procederemos a sustituirlos en la expresión siguiente para calcular la relación (C/N) descendente total.

$$(C/N)_{\text{DESCTOTAL}} = 10 \log \left[\frac{1}{\text{alog} \left[\frac{19.37}{10} \right]} + \frac{1}{\text{alog} \left[\frac{7.67}{10} \right]} + \frac{1}{\text{alog} \left[\frac{19.97}{10} \right]} + \frac{1}{\text{alog} \left[\frac{32.5}{10} \right]} \right]$$

$$(C/N)_{\text{DESC TOTAL}} = 7.14 \text{ dB}$$

4.1.4 Evaluación del enlace

En este punto se calcula la relación C/N_{TOTAL} , es decir, la resultante de la combinación entre el enlace ascendente total y el enlace descendente total. Además calcularemos a la relación $C/N_{\text{REQUERIDA}} (C/N_{\text{REQO}})$ que depende de las características del modem y de la señal de comunicaciones. Al comparar a la C/N_{TOTAL} con la $C/N_{\text{REQUERIDA}}$, obtendremos 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.

Relación portadora a ruido total la obtenemos de la siguiente expresión:

$$(C/N)_{\text{TOTAL}} = 10 \log \left[\frac{1}{\text{alog} \left[\frac{C}{N_{\text{ASC TOTAL}}} \right]} + \frac{1}{\text{alog} \left[\frac{C}{N_{\text{DESC TOTAL}}} \right]} \right]$$

sustituyendo los datos anteriores:

$$(C/N)_{TOTAL} = 10 \log \left[\frac{1}{\log \left[\frac{1}{13.32} \right] / 10} + \frac{1}{\log \left[\frac{1}{7.14} \right] / 10} \right]$$

nos da como resultado:

$$(C/N)_{TOTAL} = 6.2 \text{ dB}$$

Relación portadora a ruido requerido, ésta se calcula con la siguiente expresión:

$$(C/N)_{REQ} = E_b / N_o + 10 \log (V_{el_{inf}}) - 10 \log (BW)$$

donde:

E_b / N_o = Relación de energía de bit a densidad espectral de ruido y es una característica del modem satelital.

Estos datos son características de la señal a transmitir y fueron presentadas anteriormente por lo que sustituyendo valores tenemos:

$$(C/N)_{REQ} = 6.6 + 10 \log (128 \times 10^3) - 10 \log (291.84 \times 10^3)$$

dándonos como resultado que:

$$(C/N)_{REQ} = 3.02 \text{ dB}$$

El margen del enlace, se obtiene como se muestra a continuación:

$$ME = (C/N)_{TOTAL} - (C/N)_{REQ}$$

Como ya contamos con todos los valores requeridos, procederemos a sustituirlos:

$$ME = 6.2 - 3.02$$

obteniendo como resultado:

$$ME = 3.18 \text{ dB}$$

Por recomendación de Telecomm el margen del enlace (ME) debe ser mayor o cuando menos igual a cero. En caso de que el margen sea negativo, quiere decir, que nuestro enlace no corresponderá a la tasa de bits erróneos planteada como condición inicial de diseño. Si el margen es inferior al esperado se deberá incrementar la PIRE de E/T propuesta inicialmente y recalcularemos nuevamente, hasta lograr el margen del enlace que nosotros hayamos fijado como condición del diseño del enlace.

Para llegar a los resultados anteriormente establecidos se hicieron varias iteraciones, variando datos como: el diámetro de la antena, la temperatura del sistema, etc., hasta obtener como resultado las características que nos garanticen la mejor calidad de enlace.

Ahora calcularemos el porcentaje de potencia consumida por la portadora en el satélite con la siguiente expresión:

$$\% \text{ POT} = \left[\frac{\log^{-1} \{ \text{PIRE}_{\text{SATELITE}} - \text{PIRE}_{\text{SATURACION}} + \text{MOPBO} \}}{10} \right] \times 100$$

sustituyendo los valores obtenidos en el desarrollo del cálculo de enlace tenemos:

$$\% \text{ POT} = \left[\frac{\log^{-1} \{ 22.36 - 49.1 + 4 \}}{10} \right] \times 100$$

Por lo que la potencia consumida por la portadora en el satélite es de:

$$\text{POT} = 0.532 \%$$

Para el cálculo de la potencia consumida en el HPA, se obtiene de la siguiente expresión:

$$\text{POT}_{\text{HPA}} = \text{PIRE}_{\text{ET}} - G_{1k} + L_{\text{HPA Y ANT}}$$

donde:

$L_{\text{HPA Y ANT}}$ son las pérdidas por acoplamiento en las guías de onda en el HPA y pérdidas por el alimentador en la antena que se considera de 1 dB.

sustituyendo valores obtenidos anteriormente:

$$\text{POT}_{\text{HPA}} = 50.22 - 58.16 + 1$$

$$\text{POT}_{\text{HPA}} = -6.93 \text{ dB}$$

dado en Watts:

$$\text{POT}_{\text{HPA}} = \text{LOG}^{-1} (-6.93 / 10)$$

$$\text{POT}_{\text{HPA}} = 0.202 \text{ W}$$

Que es la potencia consumida por la portadora en el HPA y que en caso de la estación terrena maestra se habrá de sumar a la potencia por portadora para cada enlace de la red

Nota: No es recomendable que el valor del HPA quede justo en relación al valor calculado.

Después de haber hecho todos los cálculos del enlace ascendente/descendente México - Monterrey - México, se darán los resultados obtenidos para este enlace en la siguiente memoria de cálculo.

Memoria de Cálculo

DATOS GENERALES		MÉXICO D.F.	MONTERREY
LOCALIDADES		7	4.5
DIÁMETRO DE LA ANTENA	mts	11.7 - 14.5	11.7 - 14.5
FRECUENCIA DE OPERACIÓN	GHz		
GANANCIA DE LA ANTENA DE TX	dB _i	58.16	54.32
GANANCIA DE LA ANTENA DE RX	dB _i	56.63	52.79
TEMPERATURA TOTAL DEL SISTEMA	dB °K	221	222.41
FIGURA DE MÉRITO (G/T) DE LA E/T	dB / °K	33.18	29.32
DENSIDAD DE FLUJO DE SATURACION D _F S	dB / m ²	- 100.80	- 97.90
AJUSTE DE GANANCIA ATP	dB	20	20
FIGURA DE MÉRITO DEL SATELITE	dB / °K	9.3	6.4
BACK OFF DE ENTRADA	dB	8.5	8.5
ENLACE ASCENDENTE			
E/T TRANSMISORA - E/T RECEPTORA		MÉXICO D.F. - MONTERREY	MONTERREY - MÉXICO, D.F.
CONFIABILIDAD	%	99.8	99.8
PERDIDAS POR DISPERSIÓN	dB/m ²	162.19	162.25
PERDIDAS POR ABSORCIÓN ATMOSFÉRICA	dB	0.5	0.5
BACK OFF DE ENTRADA DEL SATELITE	dB	8.5	8.5
PIRE / PORTADORA DESDE LA E/T	dBW	50.22	53.18
PERDIDAS POR EL ESPACIO LIBRE	dB	206.72	206.78
PERDIDAS POR APUNTAMIENTO	dB	0.3	0.3
PERDIDAS POR POLARIZACIÓN	dB	0.2	0.2
CONSTANTE DE BOLTZMAN	dBJ/°K	- 228.6	- 228.6
MARGEN DE PRECIPITACIÓN	dB	4.20	1
RELACION G/T DEL SATELITE	dB °K	9.3	6.4
C/N _o ASCENDENTE	dB - Hz	76.20	79.40
C/N ASCENDENTE	dB	21.55	24.75
C/I INTERMODULACIÓN	dB	14.97	18.17
C/X POLARIZACIÓN CRUZADA	dB	21.57	24.77
C/X SATELITES ADYACENTES	dB	31.47	34.67
C/N ASCENDENTE DEL SISTEMA	dB	13.32	16.52

POTENCIA NOMINAL REQUERIDA EN EL HPA

		MÉXICO	MONTERREY
PIRE / PORTADORA DESDE LA E/T	dBW	50.22	53.18
PERDIDAS EN GUÍA DE ONDA	dB	0.9	0.9
BACK OFF DE SALIDA	dB	4	4
GANANCIA DE LA ANTENA EN Tx	dbi	58.16	54.32
POTENCIA NOMINAL REQUERIDA/ PORTADORA	dBW	-6.93	-0.136
POTENCIA NOMINAL REQUERIDA/ PORTADORA	W	0.202	0.969
MARGEN DE PRECIPITACIÓN	dB	4.2	1

ENLACE DESCENDENTE**E/T TRANSMISORA - E/T RECEPTORA**

		MÉXICO D.F. - MONTERREY	MONTERREY - MÉXICO, D.F.
PIRE EN SATURACIÓN DEL SATELITE	dBW	49.9	49.1
BACK OFF DE SALIDA DEL SATELITE	dB	4	4
PIRE / PORTADORA DESDE EL SATELITE	dBW	22.36	23.29
PÉRDIDAS POR EL ESPACIO LIBRE	dB	205.25	205.19
PÉRDIDAS POR APUNTAMIENTO	dB	0.3	0.3
PÉRDIDAS POR POLARIZACIÓN	dB	0.2	0.2
MARGEN DE PRECIPITACION	dB	2.2	0
CONSTANTE DE BOLTZMAN	dB J / °K	-228.6	-228.6
FIGURA DE MERITO G/T DE LA ESTACIÓN TERRENA	dB / °K	29.32	33.18
C/N ₀ DESCENDENTE	dB - Hz	74.03	76.68
C/N DESCENDENTE	dB	19.37	22.03
C/I INTERMODULACION	dB	7.67	10.87
C/X SATELITES ADYACENTES	dB	32.50	37.27
C/X POLARIZACION CRUZADA	dB	19.97	23.17
C/N DESCENDENTE DEL SISTEMA	dB	7.14	10.31

FACTOR DE CALIDAD

E / T TRANSMISORA - E / T RECEPTORA
 RELACION C/N₀ TOTAL DEL SISTEMA
 RELACION C/N TOTAL DEL SISTEMA

	MÉXICO, D.F.	MONTERREY
dB	71.97	74.82
dB	6.20	9.38

ORIGEN - DESTINO

MÉXICO D.F. -
MONTERREY

MONTERREY -
MEXICO, D.F.

	m	4.5	
DIÁMETRO E / T Tx	7	4.5	
PIRE DE LA E / T Tx	dBW	50.22	53.18
PIRE DEL SATELITE UTILIZADO	dBW	22.36	23.29
% PIRE DEL SATELITE			

SUMARIO DE ANCHOS DE BANDA REQUERIDAS EN EL SATELITE**ORIGEN - DESTINO**

MÉXICO, D.F. -
MONTERREY

MONTERREY -
MÉXICO, D.F.

	kbps	128	128
VELOCIDAD		BPSK	BPSK
MODULACION		0.4	0.4
BW UTILIZADO	MHz	0.74	0.74
% BW UTILIZADO EN EL TRANSPONDER	%		

A continuación se presentará la memoria de los cálculos obtenidos para las otras plazas a considerar en este diseño, como es el enlace de México - Guadalajara - México y el enlace de México - Mexicali - México. Cabe aclarar que para los cálculos correspondientes a las ciudades anteriormente mencionadas se siguió el mismo procedimiento que se utilizó para el enlace de México - Monterrey - México.

DATOS GENERALES LOCALIDADES

		MÉXICO D.F.	MEXICALI
DIÁMETRO DE LA ANTENA	mts	7	4.5
FRECUENCIA DE OPERACIÓN	Ghz	11.7 - 14.5	11.7 - 14.5
GANANCIA DE LA ANTENA DE TX	dB _i	58.16	54.32
GANANCIA DE LA ANTENA DE RX	dB _i	56.63	52.79
TEMPERATURA TOTAL DEL SISTEMA	dB °K	221	222.41
FIGURA DE MÉRITO (G/T) DE LA E/T	dB / °K	33.18	29.32
DENSIDAD DE FLUJO DE SATURACIÓN DFS	dB / m ²	- 100.8	- 99.20
AJUSTE DE GANANCIA ATP	dB	20	20
FIGURA DE MÉRITO DEL SATELITE	dB / °K	9.3	7.6
BACK OFF DE ENTRADA	dB	8.5	8.5

ENLACE ASCENDENTE

E/T TRANSMISORA - E/T RECEPTORA

MÉXICO D.F. - MEXICALI - MEXICALI - MEXICO, D.F.

		MÉXICO D.F. - MEXICALI	MEXICALI - MEXICO, D.F.
CONFIABILIDAD	%	99.8	99.8
PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	dB/m ²	162.19	162.25
PÉRDIDAS POR ABSORCIÓN ATMOSFERICA	dB	0.5	0.5
BACK OFF DE ENTRADA DEL SATELITE	dB	8.5	8.5
PIRE / PORTADORA DESDE LA E/T	dBW	50.22	51.98
PÉRDIDAS POR EL ESPACIO LIBRE	dB	206.72	206.78
PÉRDIDAS POR APUNTAMIENTO	dB	0.3	0.3
PÉRDIDAS POR POLARIZACIÓN	dB	0.2	0.2
CONSTANTE DE BOLTZMAN	dBJ/°K	- 228.6	- 228.6
MARGEN DE PRECIPITACIÓN	dB	4.20	3
RELACION G/T DEL SATELITE	dB °K	9.3	7.6
C/NO ASCENDENTE	dB - Hz	76.20	77.30
C/I ASCENDENTE	dB	21.55	22.65
C/I INTERMODULACION	dB	14.97	16.17
C/X POLARIZACIÓN CRUZADA	dB	21.57	22.77
C/X SATELITES ADYACENTES	dB	31.47	32.67
C/N ASCENDENTE DEL SISTEMA	dB	13.32	14.51

POTENCIA NOMINAL REQUERIDA EN EL HPA

MÉXICO

MEXICALI

		MÉXICO	MEXICALI
PIRE / PORTADORA DESDE LA E/T	dBW	50.22	51.98
PÉRDIDAS EN GUIA DE ONDA	dB	0.9	4
BACK OFF DE SALIDA	dB	4	4
GANANCIA DE LA ANTENA EN TX	dB _i	58.16	54.32
POTENCIA NOMINAL REQUERIDA/ PORTADORA	dBW	- 6.93	- 1.34
POTENCIA NOMINAL REQUERIDA/ PORTADORA	W	0.20	0.73
MARGEN DE PRECIPITACIÓN	dB	4.20	3.00

ENLACE DESCENDENTE

E/T TRANSMISORA - E/T RECEPTORA

		MÉXICO D.F. - MEXICALI	MEXICALI - MÉXICO, D.F.
PIRE EN SATURACION DEL SATELITE	dBW	49.9	49.5
BACK OFF DE SALIDA DEL SATELITE	dB	4	4
PIRE / PORTADORA DESDE EL SATELITE	dBW	22.66	23.38
PÉRDIDAS POR EL ESPACIO LIBRE	dB	205.25	205.19
PERDIDAS POR APUNTAMIENTO	dB	8.88	7.08
PERDIDAS POR POLARIZACION	dB	21.18	21.18
MARGEN DE PRECIPITACION	dB	1	2.20
CONSTANTE DE BOLTZMAN	dB J / °K	-228.6	-228.6
FIGURA DE MÉRITO G/T DE LA ESTACION TERRENA	dB / °K	29.32	33.18
C/No DESCENDENTE	dB - Hz	74.33	76.78
C/N DESCENDENTE	dB	19.68	22.13
C/I INTERMODULACION	dB	7.67	8.87
C/X SATELITES ADYACENTES	dB	32.81	37.36
C/X POLARIZACION CRUZADA	dB	19.87	21.17
C/N DESCENDENTE DEL SISTEMA	dB	7.16	8.43

FACTOR DE CALIDAD

E / T TRANSMISORA - E / T RECEPTORA

		MÉXICO, D.F.	MEXICALI
RELACION C/No TOTAL DEL SISTEMA	dB	72.15	74.02
RELACION C/N TOTAL DEL SISTEMA	dB	6.22	7.47

ORIGEN - DESTINO

		MÉXICO D.F. - MEXICALI	MEXICALI - MÉXICO, D.F.
DIÁMETRO E / T Tx	m	7	4.5
PIRE DE LA E / T Tx	dBW	50.22	51.98
PIRE DEL SATELITE UTILIZADO	dBW	22.36	23.38
% PIRE DEL SATELITE			

SUMARIO DE ANCHOS DE BANDA REQUERIDAS EN EL SATELITE

ORIGEN - DESTINO

		MÉXICO, D.F. - MEXICALI	MEXICALI - MÉXICO, D. F.
VELOCIDAD	kbps	128	128
MODULACION		BPSK	BPSK
BW UTILIZADO	MHz	0.4	0.4
% BW UTILIZADO EN EL TRANSPONDER	%	0.74	0.74

**DATOS GENERALES
LOCALIDADES**

		MÉXICO D.F.	GUADALAJARA
DIÁMETRO DE LA ANTENA	mis	7	4.5
FRECUENCIA DE OPERACION	GHz	11.7 - 14.5	11.7 - 14.5
GANANCIA DE LA ANTENA DE TX	dBi	58.16	54.32
GANANCIA DE LA ANTENA DE RX	dBi	56.63	52.79
TEMPERATURA TOTAL DEL SISTEMA	dB °K	221	222.41
FIGURA DE MÉRITO (G/T) DE LA E/T	dB / °K	33.18	29.32
DENSIDAD DE FLUJO DE SATURACION DFS	dB / m ²	- 100.80	- 97.20
AJUSTE DE GANANCIA ATP	dB	20	20
FIGURA DE MÉRITO DEL SATELITE	dB / °K	9.3	5.6
BACK OFF DE ENTRADA	dB	8.5	8.5

ENLACE ASCENDENTE

E/T TRANSMISORA - E/T RECEPTORA

		MÉXICO D.F. - GUADALAJARA	GUADALAJARA- MÉXICO, D.F.
CONFIABILIDAD	%	99.8	99.8
PERDIDAS POR DISPERSION	dB/m ²	162.19	162.18
PERDIDAS POR ABSORCION ATMOSFERICA	dB	0.5	0.5
BACK OFF DE ENTRADA DEL SATELITE	dB	8.5	8.5
PIRE / PORTADORA DESDE LA E/T	dBW	50.22	53.81
PERDIDAS POR EL ESPACIO LIBRE	dB	206.72	206.71
PERDIDAS POR APUNTAMIENTO	dB	0.3	0.3
PERDIDAS POR POLARIZACION	dB	0.2	0.2
CONSTANTE DE BOLTZMAN	dBJ/°K	- 228.6	- 228.6
MARGEN DE PRECIPITACION	dB	4.20	5.90
RELACION G/T DEL SATELITE	dB / °K	9.3	5.60
C/No ASCENDENTE	dB - Hz	76.2	74.4
C/N ASCENDENTE	dB	21.55	19.75
C/I INTERMODULACION	dB	14.97	13.27
C/X POLARIZACION CRUZADA	dB	21.57	19.87
C/X SATELITES ADYACENTES	dB	31.47	29.77
C/N ASCENDENTE DEL SISTEMA	dB	13.32	11.61

POTENCIA NOMINAL REQUERIDA EN EL HPA

		MÉXICO	GUADALAJARA
PIRE / PORTADORA DESDE LA E/T	dBW	50.22	53.81
PERDIDAS EN GUIA DE ONDA	dB	0.9	0.9
BACK OFF DE SALIDA	dB	4.0	4.0
GANANCIA DE LA ANTENA EN Tx	dBi	58.16	54.32
POTENCIA NOMINAL REQUERIDA/ PORTADORA	dBW	- 6.93	0.49
POTENCIA NOMINAL REQUERIDA/ PORTADORA	W	0.202	1.12
MARGEN DE PRECIPITACION	dB	4.2	5.90

ENLACE DESCENDENTE

E/T TRANSMISORA - E/T RECEPTORA

		MÉXICO D.F. - GUADALAJARA	GUADALAJARA- MÉXICO, D.F.
PIRE EN SATURACIÓN DEL SATELITE	dBW	49.90	49.90
BACK OFF DE SALIDA DEL SATELITE	dB	4.0	4.0
PIRE / PORTADORA DESDE EL SATELITE	dBW	23.23	23.22
PERDIDAS POR EL ESPACIO LIBRE	dB	205.25	205.19
PERDIDAS POR APUNTAMIENTO	dB	0.3	0.3
PERDIDAS POR POLARIZACIÓN	dB	0.2	0.2
MARGEN DE PRECIPITACION	dB	3.90	2.20
CONSTANTE DE BOLTZMAN	dB J / °K	- 228.6	- 228.6
FIGURA DE MERITO G/T DE LA ESTACION TERRENA	dB / °K	29.32	33.18
C/Nº DESCENDENTE	dB - Hz	74.9	76.617
C/N DESCENDENTE	dB	20.24	21.96
C/I INTERMODULACIÓN	dB	7.67	5.97
C/X SATELITES ADYACENTES	dB	33.37	37.02
C/X POLARIZACION CRUZADA	dB	19.97	18.27
C/N DESCENDENTE DEL SISTEMA	dB	7.19	5.62

FACTOR DE CALIDAD

E / T TRANSMISORA - E / T RECEPTORA

		MÉXICO, D.F.	GUADALAJARA
RELACION C/Nº TOTAL DEL SISTEMA	dB	72.49	72.35
RELACION C/N TOTAL DEL SISTEMA	dB	6.24	4.64

ORIGEN - DESTINO

		MÉXICO D.F. - GUADALAJARA	GUADALAJARA - MÉXICO, D.F.
--	--	------------------------------	-------------------------------

DIÁMETRO E / T Tx	m	7	4.5
PIRE DE LA E / T Tx	dBW	50.22	53.81
PIRE DEL SATELITE UTILIZADO	dBW	23.23	23.22
% PIRE DEL SATELITE			

SUMARIO DE ANCHOS DE BANDA REQUERIDAS EN EL SATELITE

ORIGEN - DESTINO

		MÉXICO, D.F. - GUADALAJARA	GUADALAJARA - MÉXICO, D.F.
VELOCIDAD	kbps	128	128
MODULACION		BPSK	BPSK
BW UTILIZADO	MHz	0.4	0.4
% BW UTILIZADO EN EL TRANSPONDER	%	0.74	0.74

Como se puede observar, en cada memoria de cálculo anteriormente presentada para los diferentes enlaces de la red propuesta, los resultados obtenidos garantizan la mejor calidad de enlace.

A continuación se presentarán las especificaciones de los equipos considerados para cada una de las estaciones terrenas de la red.

Para la realización de los cálculos anteriormente presentados se elaboró un programa (ver apéndice D software para cálculo de enlace).

4.2.- ESPECIFICACIÓN DEL EQUIPO QUE CONFORMA A UNA ESTACIÓN MAESTRA

En los siguientes apartados presentaremos las especificaciones eléctricas, mecánicas y ambientales de los diferentes equipos que conforman a la estación terrena maestra, tomando como proveedor a la compañía *Scientific Atlanta*

En la tabla 4.3 se resumen las características del multiplexor.

Descripción	Características
Consumo de potencia	96 W a 110/117 VAC
Número de puertos de interfase de usuarios	30 puertos en configuración de doble gabinete una tarjeta por puerto para datos RS-232 / V.24 para voz 2 / 4 hilos con señalización E & M
Velocidad de voz y datos de usuario	Datos : de 300 bps a 38.4 Kbps Voz : Digitalizada de 9.6 Kbps a 64 Kbps
Puerto de interfase de línea	3 tipo V.35
Conectores: Tipos de conectores	DB34
Puertos individuales	DB 25 para canal de datos RJ 45 para canal de voz
Características ambientales: Rango de temperatura	0 a 50 ° C
Humedad relativa	hasta 95 % no condensada

Tabla 4.3. Especificaciones generales del multiplexor.

Las características principales del modem satelital son las que se muestran en la tabla 4.4.

Descripción	Características
Moduladora	
Velocidad de transmisión	128 kbps
Modulación	BPSK
Rango de frecuencia intermedia o salida	950 a 1450 MHz
Resolución de frecuencia	200 kHz por paso
Potencia de salida	+ 5 dBm
Señales armónicas y ruidosas de ancho de banda de 4 kHz y de FI	
Fc + 84 kHz a Fc + 168 kHz	- 25 dBc
Fc + 268 kHz a Fc + 420 kHz	- 35 dBc
Fc + 420 kHz	- 43 dBc
Supresión de portadora (control off)	- 50 dBc
Impedancia de salida	50 ohms, 2.0:1 Relación de onda estacionaria (VSWR)
Demoduladora y decodificadora	
Velocidad de transmisión	128 kbps
Rango de frecuencia de entrada	950 a 1450 MHz
Modulación	BPSK
Impedancia de entrada	50 ohms, 2.0:1 Relación de onda estacionaria (VSWR)
FEC (Factor de código detector y corrector de errores)	$\frac{1}{2}$
BER (Tasa de bits erróneos)	1×10^{-7}
Eb / No (Relación energía de bit a densidad espectral de ruido)	6.6 dB
Interfase de datos	
Tipo de interfase	RS-449
Velocidad de datos	128 kbps
Modo	Síncrono
Conector	DB - 37 hembra
Mecánicas y ambientales	
Ambiente de operación	
Temperatura	0 a 40 °C
Humedad relativa	hasta 95 % sin condensar
Altitud	hasta 3000 metros
Ambiente de no operación	
Temperatura	40 ° a 85 °C
Humedad relativa	hasta 95 % sin condensar
Altitud	hasta 12000 metros

Tabla 4.4. Especificaciones generales del modem satelital.

El convertidor de subida tiene las características que se observan en la tabla 4.5.

Descripción	Características
Generales	
Tipo	Conversión en un bloque
Sintonización	Solamente con oscilador local secundario
Sensado de frecuencia	Sin inversión
Características de entrada	
Frecuencia	950 a 1450 MHz
Impedancia	75 ohms (opcional 50 ohms)
Pérdida de retorno	18 dB mínimo
Características de salida	
Frecuencia	14.0 a 14.5 GHz
Impedancia	50 ohms
Pérdidas de retorno	18 dB mínimo
Características de transferencia	
Ganancia	11 dB monitoreo (atenuación mínima)
Nivel de estabilidad	± 0.25 dB / día máximo a temperatura constante
Respuesta de amplitud	± 0.25 dB / ± 20 MHz ± 0.20 dB / ± 18 MHz

Tabla 4.5. Especificaciones generales del convertidor de subida de banda Ku.

Las características generales del HPA son las que se observan en la tabla 4.6.

Descripción	Características
Funcionales	
Rango de frecuencia	14.0 a 14.5 GHz
Potencia nominal de salida	200 W
Ancho de banda	500 MHz
Ganancia	40 dB mínimo (60 dB con opción IPA)
Ajuste de nivel de RF	0 a 20 dB continuo
Estabilidad de ganancia	± 0.25 dB / 24 horas a temperatura y operación constante
Variación de ganancia / 500 MHz	2.5 dB pk-pk 30 dB pk-pk
Entrada relación de onda estacionaria	1.3:1 máximo
Salida relación de onda estacionaria	1.3:1 máximo
Armónicas de salida	- 60 dBc en el rango de salida, segunda y tercera armónica
Ruido y espurias	- 130 dBW / 4 kHz, 11.7 a 12.2 GHz - 70 dBW / 4 kHz, 12.2 a 19 GHz - 110 dBW / MHz, 18 a 40 GHz
Figura de ruido	35 dB máximo (15 dB máximo con opción IPA)
Intermodulación	- 24 dBc con 2 portadoras iguales en salida total 7 dB menor del rango de salida de portadora única
Mecánicas y ambientales	
Condiciones ambientales	
Temperatura ambiental	0 ° C a 50 ° C
Humedad relativa	95%
Altitud	3000 metros
Enfriamiento	Tiro forzado con soplador integrado, toma y salida de aire en la parte posterior
Conexión de entrada RF	Conector SMA hembra
Conector de salida	Brida de guía de onda tipo WR75

Tabla 4.6. Especificaciones generales del HPA.

4.7. Las especificaciones del alimentador de la antena maestra son las que se muestran en la tabla

Descripción	Características
Polarización	Lineal, Tx, Rx ortogonal
Frecuencia (GHz) Rx Tx	10.95 - 12.75 14.0 - 14.5
Perdidas de inserción máxima (dB) Substituido de la ganancia de la antena (incluye: Transductor de modo ortogonal (OMT), guías de onda y pérdidas en el diplexor) Rx Tx	0.17 0.15
Contribución a la temperatura de ruido. Sumada a la temperatura de ruido de la antena (calculada a 5 ° de elevación)	8.5
Discriminación de la polarización cruzada en los ejes mínimo en dB	35
Aislamiento mínimo (dB) entre Tx y Rx	35
Relación de onda estacionaria máxima (recibida y transmitida)	1.3

Tabla 4.7. Especificaciones del alimentador de la antena de estación maestra.

Las características generales de la antena son las que se observan en la tabla 4.8.

Descripción	Características
Generales	
Diámetro de la antena	7 metros
Configuración de la antena	Reflector dual tipo Cassegrain
Tipo de alimentador	Corneta cónica corrugada
Construcción del reflector	18 paneles de aluminio de alta precisión montados en el cilindro principal
Configuración de montaje	Elevación sobre azimut
Eléctricas	
Ganancias dBi	
Rx (11.95 GHz)	57.2
Tx (14.25 GHz)	58.2
Nivel del primer lóbulo lateral	- 16 dB máximo
Capacidad de manejo por puerto de transmisión	3 kW
Interfase de alimentación	WR 75 - G
Elevación	Temperatura de ruido (° K)
5 °	68
10 °	47
15 °	37
20 °	32
30 °	26
40 °	23
50 °	21
Mecánicas	
Rango de acoplamiento	
Azimut	
Montaje estándar	147 ° en dos sectores de 115 ° traslapados
Montaje opcional	180 ° en tres sectores de 115 ° traslapados
Elevación	5 ° a 90 °
Ajuste de polarización	360 ° continuos
Ambientales	
Precisión de apuntamiento, pérdidas a considerar de su ganancia	menor a 0.5 dB en vientos que van de 48 km/h a 72 km/h
Rango de temperatura	-20 ° C a 55 ° C
Radiación solar	1.1 mW/mm ²
Condiciones atmosféricas	Corrosión por sal, contaminantes en costas y zonas industriales

Tabla 4.8. Especificaciones generales de la antena de estación maestra.

Las especificaciones generales del LNC son las que se muestran en la tabla 4.9.

Descripción	Características
Eléctricas	
Frecuencia de entrada	11.7 a 12.2 GHz
Ganancia	50 dB
Relación de onda estacionaria de entrada	1.5:1
Frecuencia de salida	950 a 1450 MHz
Relación de onda estacionaria de salida	1.5:1
Temperatura de ruido	200 K
Mecánicas	
Configuración	1:1 redundante
Conector de entrada	Guía de onda WR75
Conector de salida	Conector tipo N hembra
Controlador	
Número de LNC's	2
Frecuencia de referencia	50 MHz
Requerimientos de energía	105 a 125 Vac 60 Hz 100 Watts

Tabla 4.9. Especificaciones generales del LNC.

4.3.- ESPECIFICACIÓN DEL EQUIPO QUE CONFORMAN A UNA ESTACIÓN TERRENA REMOTA

En la siguiente sección se darán las especificaciones eléctricas, mecánicas y ambientales de los diferentes equipos que conforman a las estaciones remotas, tomando como proveedor a la compañía *Scientific Atlanta*.

En las tablas 4.10 se presentan las especificaciones generales del ORU y 4.11 las especificaciones eléctricas de la antena, así como las especificaciones mecánicas de ésta.

Descripción	Características
Eléctricas	
Recepción Frecuencia de entrada Frecuencia de salida Impedancia de salida Temperatura de ruido	11.7 a 12.2 GHz 950 a 1450 MHz 50 ohms 200 °K
Transmisión Frecuencia de entrada Frecuencia de salida Impedancia de entrada	950 a 1450 MHz, 50 MHz de referencia 14.0 a 14.5 GHz 50 ohms
Potencia de Tx	+ 34.77 dBm (3 Watt)
Emisión de espurias	< -60 dBc
Mecánicas y ambientales	
Operación ambiental Temperatura Humedad relativa Altitud Caída de lluvia Carga de calor solar Viento de operación Viento de supervivencia	- 40 a 55 ° C hasta 100% condensación y congelamiento hasta 3000 metros 10.2 cm por hora con velocidad de viento de 72 km 100 kcal/h/m ² 72 km/h a 97 k/h hasta 160 km/h no incluido el montaje a 15 ° C

Tabla 4.10. Especificaciones generales de la unidad exterior de radio frecuencia (ORU).

Características	Descripción
Generales	
Diametro de la antena	4.5 metros
Configuración de la antena	Alimentación frontal tipo gregoriana
Construcción del reflector	12 paneles de aluminio de alta precisión
Configuración del montaje	Elevación sobre azimut
Eléctricas	
Frecuencia de operación	
Rx	10.95 a 12.75 GHz
Tx	14.0 a 14.5 GHz
Ganancia (referida al puerto OMT)	
Rx	53.1 dBi mínimo a 12.0 GHz
Tx	54.3 dBi mínimo a 14.25 GHz
Relación de onda estacionaria	1.3:1
Polarización	Lineal Tx, Rx
Ajuste de polarización	360° continuos
Supresión de polarización cruzada	35 dB mínimos en los ejes
Aislamiento (puerto a puerto)	35 dB mínimo
Ancho de haz 3 dB	0.4° a 12 GHz
Nivel del primer lóbulo lateral	-20 dB (típico)
Temperatura de ruido de la antena (referenciada al puerto OMT) típico a 12.0 GHz	
Elevación	Ta °K
5°	60
10°	46
15°	40
20°	31
30°	28
40°	26
50°	25
60°	24
Interfase de alimentación	Guía de onda circular tipo WR-75
Mecánicas	
Rango de apuntamiento de la antena	
Azimut	360° continuos
Elevación	5° a 90° continuos
Polarización	360° continuos
Ambientales	
Precisión de apuntamiento	aprox. 0.054° en vientos que van desde 45 km/h a 60 km/h.
Radiación solar	1.1 mW/mm ²
Temperatura de operación	de -40° a 65° C

Tabla 4.11. Especificaciones eléctricas de la antena de estación remota.

En el presente capítulo se describió el procedimiento establecido por Telecomm para realizar el cálculo de enlace satelital, para las diferentes plazas que se contemplan en nuestro diseño, y se obtuvo realizando múltiples iteraciones hasta obtener como resultado las características que nos garanticen un enlace óptimo, confiable, el cual permitirá crecer en un futuro incorporando nuevas estaciones remotas en cualquier parte de la República Mexicana, o incrementando el tráfico en las diferentes estaciones terrenas, también se presentó la memoria técnica de dichos cálculos y se consideró el equipo que cumple con los requerimientos del cálculo.

Cabe hacer mención que los datos y especificaciones del equipo propuesto en el diseño de esta tesis, fueron proporcionados por la compañía de equipo de telecomunicaciones Scientific Atlanta, la cual es el proveedor de Televisa Chapultepec.

En resumen el equipo base para nuestro diseño es el siguiente:

Antena de 7 m para la estación maestra y de 4.5 m para las estaciones remotas. Para la estación maestra un amplificador de alta potencia tipo TWT de 200 Watts, el cual nos permitirá expandir la red de telecomunicaciones de Televisa Chapultepec conforme a las necesidades de crecimiento de la empresa, y para las estaciones remotas se eligió el SSPA de 3 Watts, el cual cumple con los requerimientos de potencia obtenidos en el cálculo.

**RESULTADOS Y
CONCLUSIONES**



De acuerdo a la investigación realizada para este trabajo de tesis, necesitamos documentarnos acudiendo a las diferentes bibliotecas con las que cuenta la UNAM, a la empresa Telecomunicaciones de México y a las instalaciones de la empresa para la cual se realizó este trabajo Televisa, teniendo tropiezos en cuanto a la comprensión de algunos puntos expuestos, pero gracias a la dirección del ingeniero Lauro Santiago logramos concretar este proyecto.

No obstante que en la Facultad de Ingeniería se nos dan las bases teóricas, este trabajo nos permitió enriquecer nuestros conocimientos, como fueron el tratamiento que se le da a una señal, el medio por el cual esta puede ser transmitida, que para nuestra propuesta seleccionamos la comunicación vía satelital.

La comunicación satelital permite establecer enlaces independientes de la distancia de las estaciones terrenas que estén dentro de la cobertura del satélite, también han tenido un gran avance en los últimos años debido al lanzamiento de una gran cantidad de satélites, esto con el fin de poder comunicar a todo el mundo, además del avance que se tiene hasta el momento en la tecnología de equipos electrónicos.

En el presente trabajo se describe el diseño y cálculo de una red con características particulares, se ha partido de considerar las bases teóricas de las diferentes técnicas de comunicación y en particular la comunicación vía satélite, por sus características de conectividad esencialmente. Se particularizó este proceso de diseño enfocándonos hacia las necesidades específicas de algunas de las áreas más representativas de Televisa Chapultepec, para comunicar voz y datos hacia algunas plazas del interior de la República Mexicana, partiendo del muestreo de tráfico telefónico por circuitos de larga distancia y las características de canales de datos actualmente en funcionamiento, proporcionados por la gerencia de Comunicaciones de Televisa Chapultepec.

Con estos antecedentes se proporcionó una solución que cumple con las características requeridas por el sistema. Se dio una presentación formal a la propuesta, apoyadas en un formato establecido para realizar el cálculo de enlaces satelitales, proporcionado por Telecom.

En base a los resultados obtenidos en el cálculo satelital se observa que el equipo de radio frecuencia considerado para la estación maestra cuenta con un margen amplio para permitir a futuro la incorporación de nuevas estaciones remotas; para el presente diseño también se contempló la posibilidad de crecimiento del tráfico de información que podría solventarse cambiando el tipo de acceso al satélite, realizando la migración de tecnología de un solo canal por portadora por la combinación de esta con acceso múltiple por asignación de demanda, aprovechando la mayor parte del equipo seleccionado.

Por otro lado el diseño presenta las siguientes ventajas:

- La comunicación satelital permite establecer enlaces independientes de la distancia dentro de la cobertura del satélite.
- El tipo de acceso permite el crecimiento hacia un mayor número de estaciones.
- El tratamiento de la señal asegura la confidencialidad de la comunicación.
- La sencillez de la topología elegida permite un control estricto del flujo de la información.
- Se tiene una alta confiabilidad del enlace debido a la redundancia del equipo de radio frecuencia.

BIBLIOGRAFÍA

- Herrera E., "Fundamentos de Ingeniería Telefónica", Ed. Limusa, 3ra. edición, México, D. F., 1989.
- García A., "Cálculo de Antenas", Ed. Alfaomega, 2da. edición, México, D. F., 1992.
- Kraus D., "Electromagnetismo", Ed. McGraw Hill, 3ra. edición, México, D. F., 1986.
- Pasahow E., "Electrónica Manual Práctico de Referencias", Ed. McGraw Hill, México, D. F., 1986.
- Wayne T., "Sistema de Comunicaciones Electrónicas", Ed. Prentice Hall Hispanoamericana, S. A., 2da. edición, México, D. F., 1996.
- Freeman R., "Ingeniería de Sistemas de Telecomunicaciones", Ed. Limusa, México, D. F., 1989.
- Neri R., "Satélites de Comunicaciones", Ed. McGraw Hill, México, D. F., 1989.
- Escuela Nacional De Telecomunicaciones, "Cálculo de Enlace Satelital para Señales Digitales de Voz, Datos, Video y Teleaudición", Ed. Telecomm, México, D. F., 1995.
- Black U., "Redes de Computadoras, Protocolos, Normas e Interfaces", Ed. Macrobit, México, D. F., 1993.
- Sheldon T., "Novell Net Ware 386 Manual de Referencia", Ed. McGraw Hill / Interamericana, México, D. F., 1992.
- González N., "Comunicaciones y redes de procesamiento de datos", Ed. McGraw Hill / Interamericana de México, S. A. de C. V., México, D. F., 1987.
- Castro A / Fusario R., "Teleinformática Aplicada" Volumen 1, Ed. McGraw /Interamericana de España, S. A., México, D. F., 1994.
- Albore M., "Televisa entra al mundo virtual", Ed. Revista Red, añoVI, septiembre 1996 Número 72, p. 10 -14.
- Andrew, "Planeación de sistemas, especificación de productos y servicios", catálogo No. 36, 1994.
- Telecomm, "Curso de sistemas de satélites Solidaridad", octubre, 1994.
- Escuela Nacional de Telecomunicaciones, "Apuntes de curso de Comunicaciones satelitales", 1992.
- Escuela Nacional de Telecomunicaciones, "Curso técnicas de acceso", abril 1992.

Carta de noticias, 3ra. época, volumen 1, número 2, julio 1989.

Carta de noticias, 3ra. época, volumen 1, número 2, agosto 1989.

Soporte a sistemas de ITSA, "Seminario de introducción a redes de computadoras", junio 1990

Manual de procedimientos y políticas. Televisa, 1995.

Telecomm, "Sistemas de satélites Mexicanos Solidaridad" Manual práctico, 4ta. edición, abril 1994.

Teléfonos de México, "Sistemas de telecomunicaciones via satélite", 1992.

APÉNDICES



A

CABLES

COAXIALES

El cable coaxial es un medio de transmisión de información muy usado en redes de área local (LAN), para interconexión de equipo de telecomunicaciones, envío de señales de televisión (televisión por cable), y es utilizado en varios sistemas multiplex, ya sea del tipo Modulación por División de Frecuencia (FDM) o Modulación por División de Tiempo (TDM), el cable coaxial está formado por dos conductores, uno tubular y otro filiforme, colocados en un mismo eje, estos son llamados conductores externos e internos respectivamente y, por lo general, son de cobre. Los conductores están aislados uno del otro por polietileno o una combinación de aire polietileno.

Las características más importantes de los cables coaxiales son las que a continuación se mencionan:

- La impedancia característica (Z_0) es la relación de la tensión aplicada a un cable coaxial de longitud infinita, entre la corriente absorbida por éste. Z_0 se especifica en ohms
- La capacitancia (C) es el valor que existe entre los dos conductores del cable coaxial (el interior y el exterior), ya que entre estos dos, se encuentra un material aislante, por lo que el valor de la capacitancia se da en Faradios por metro [F/m].
- La velocidad de propagación (V_0) de las señales eléctricas, se refiere a la velocidad de transmisión por medio del cable coaxial, este valor se especifica refiriéndolo a la velocidad de la luz en espacio libre (3×10^8 m/s), y se expresa en porcentaje.
- La atenuación de una señal que es transmitida por un cable coaxial se refiere a la pérdida de potencia, a una determinada frecuencia, ésta depende de varios factores, entre estos se encuentran: la temperatura, la impedancia característica, la relación entre los diámetros de los conductores central y exterior, etc.

Los cables coaxiales de acuerdo a su impedancia característica se clasifican en dos categorías: cable coaxial de banda angosta y cable coaxial de banda ancha, los cuales serán descritos a continuación.

Cable coaxial de banda angosta (banda base)

Este tipo de cable se utiliza en la transmisión digital, transmite una señal en half - duplex, donde no se tiene una modulación en frecuencia y aunque son diseñados para comunicaciones de datos pueden transmitir voz digitalizada, tienen una impedancia característica de 50 ohms, existiendo una amplia variedad de cables, se consideran un medio pasivo, donde la energía es provista por las estaciones del usuario; para su conexión física se hace uso de conectores especiales, por ejemplo para conectar la terminal del usuario a la red se usa una unidad de interconexión NIU (*Network Interface Unit*) independiente o integrada a la terminal.

Este tipo de cable tiene un alcance de 1 a 10 kms con una velocidad de transmisión de hasta 10 Mbps, esto dependiendo del tipo de cable y pudiéndose mejorar con filtros, haciendo uso de repetidores se alargan las distancias, generalmente es usado en redes de computadoras locales con topología tipo bus, arbol y anillo.

En la tabla 1 se muestran las características eléctricas y operativas de algunos tipos de cables coaxiales de banda anosta.

COAXIAL TIPO	ELÉCTRICAS			OPERATIVAS					
	IMPEDANCIA Z_0 [ohm]	CAPACITANCIA C [pF/m]	VELOCIDAD DE PROPAGACION V_p [%]	ATENUACION (α) a 20°C $L = [dB]$, $\alpha = [dB/100m]$					
				10	50	100	200	400	1000
RG174A1	50	101	66	12.8	23	29.2	39.4	61	98.4
RG12231	50	101	66	5.9	14.2	23	36.1	56	95.2
RG58C1	50	101	66	4.9	12	17	26	38	65
RF2231	50	101	66	4.3	10	14	20	29	45
RG2231	50	101	66	1.9	0.5	15.8	23	33	44.2
RF213A	50	101	66	2	4.9	7	10.5	15.5	26
RG99H	50	101	66	2.2	5.4	9.6	13.5	17.5	30
RG214L	50	101	66	2.2	5.4	9.6	10.9	17	28.9
RG218U	50	101	66	0.75	1.8	3	4.6	7	12
RG177L	50	101	66	0.78	1.8	3.1	4.6	7.9	14.5

Tabla 1. Características de cables coaxiales de 50 ohms

Cable coaxial de banda ancha

Este tipo de cable tiene una impedancia característica de 75 ohms, se utiliza comúnmente para el envío de la señal de televisión, en forma analógica, se usa en multiplexores tipo FDM, se puede combinar voz, datos y video simultáneamente. Al encontrarse la señal de video en forma analógica, los datos deben de ser modulados antes de la transmisión, usando un módem de RF. Todas las señales son half-duplex, pero usando dos se obtiene una comunicación full-duplex. El cable coaxial de banda ancha en comparación con el cable coaxial de banda base, utiliza amplificadores en vez de repetidores y debido a las amplificaciones y al alto número de canales, se pueden conectar hasta 25,000 dispositivos con un alcance de 5 kms; También es usado en telefonía y en radiofrecuencia. Para este tipo de cable se tiene un ancho de banda máximo de 400 MHz, pudiendo transportar el 100% de su carga. Un cable típico de 300 MHz por lo general, puede mantener velocidades de transmisión de datos de hasta 150 Mbps. Tiene una mejor inmunidad al ruido que el de banda base, su costo es alto. En la tabla 2 se presentan características eléctricas y operativas de algunos cables coaxiales de banda ancha.

COAXIAL TIPO	ELECTRICAS			OPERATIVAS					
	IMPEDANCIA Z ₀ (ohms)	CAPACITANCIA C(pf/m)	VELOCIDAD DE PROPAGACION V ₀ = [%c]	ATENUACION (α) a 20°C					
				F = [MHz] α = (dB/100m)					
				10	30	100	200	400	1000
CATV 63	75	33.1	78	2.3	4.9	7	12.5	14.5	26.2
CATV 6	75	35.3	81	2.6	5.6	8.2	11.8		
CATV 59.1	75	52.7	78	3.5	6.3	8.5	11.8	17.4	30
RQ 59 H3	75	72.6	66	3.6	7.9	11.2	16.8	24.8	42.4
RQ 59 U	75	72.3	66	3.6	7.9	11.2	16.8	24.8	42.4
RQ 11 A3	75	68.9	66	2.2	4.3	6.6	9.5	13.8	23.3
RQ 58 C/U/M	75	67.2	66	4	10.4	15	22.5	33	59
CECBV 75-4.3	75	66	66	4.3	5.6	9.8	15.6	23.7	42.4
CECBV 75-5	75	67.7	66	2.6	6.2	8.9	13.4	19.4	32.1
CECBV 75-2	75	69.2	66	5.8	13.3	19.4	28.2	41.4	

Tabla 2. Características de cables coaxiales de 75 ohms.

B

**TABLAS DE
ERLANG**

Introducción

Para la proporción de llamadas perdidas en un grupo completamente disponible comprendiendo n circuitos y arreglados, de tal modo que cualquier llamada que encuentre una línea no se pierda, el matemático danés A.K. Erlang ha proporcionado la siguiente expresión:

$$E_{l,n}(A) = \frac{A^n / n!}{1 + A + A^2 / 2! + \dots + A^n / n!}$$

donde A es el flujo de tráfico ofrecido en erlangs (unidad de tráfico).

Las tablas 1 y 2 proporcionan valores de A como una función de n y E , donde $n = 1 - 1000$ y para la tabla:

1	$E = 0.000\ 01 - 0.010\ 00$
2	$E = 0.001 - 0.200$

La interpolación lineal en A proporciona una exactitud mayor a 0.01 erlang.

C

**TABLAS DE
TELECOMM**

En este apéndice se presentarán las tablas (que Telecomm proporciona) que contienen los parámetros de operación para la banda Ku, márgenes de atenuación por lluvia y características generales para las diferentes regiones que componen nuestro diseño y que se utilizan para el cálculo de enlace satelital capítulo 4.

SOLIDARIDAD 1, 108 2° OESTE
R.S. O.D.N. 4

FEBRERO DE 1988

LUGAR	FEBRERO DE 1988		KV					
	LATITUD NORTE	LONGITUD OESTE	PKW OPN	OPV OPN	OPV OPN/OPV	PKW OPN	OPV OPN	OPV OPN/OPV
ACAPOMETALAVY	22.88	108.37	48.81	5.88	-47.23	48.18	8.23	-48.79
ACAPULCO GRD	18.61	98.88	47.80	5.70	-47.30	47.18	8.70	-48.10
ACATLANPUE	18.38	88.88	48.23	8.83	-108.11	48.08	8.84	-108.84
AGUA PRIETA BOM	31.58	108.28	48.88	7.88	-48.88	48.88	7.11	-48.81
AGUA CALIENTES LABS	31.88	108.88	48.88	8.88	-47.88	48.78	7.38	-48.88
ALBUQUERQUE ALMEX	38.18	108.88	48.18	-8.34	-47.34	38.88	8.88	-48.48
AMICALAN	38.84	108.88	48.88	8.88	-48.88	48.28	8.88	-101.18
ANAYETEMAN JACH	18.87	108.34	88.88	8.34	-48.88	48.88	8.88	-101.38
ARANDAMAUN	38.73	108.33	81.13	8.88	-48.34	88.88	8.88	-101.18
ATLACOMULCO SERO M	18.88	88.87	81.13	8.88	-108.88	88.38	8.81	-108.81
ATLACOMULCO DDO	34.88	108.78	48.84	8.48	-47.88	88.88	8.81	-48.11
BOLSONQUELEN	28.13	108.81	48.38	7.88	-48.81	48.88	8.43	-48.88
BOLSONQUELEN	21.88	108.78	48.88	8.78	-47.38	48.88	8.24	-48.74
CARO SAN LUCAS BOB	22.81	108.88	48.28	8.28	-48.81	48.88	8.88	-47.48
CANONIA BOB	28.18	118.18	48.38	8.37	-108.18	48.17	8.88	-48.18
CANONIA OPN	27.78	108.38	48.47	8.38	-48.84	48.88	7.11	-48.81
CANONIA CAMP	18.88	88.88	48.84	8.48	-48.81	48.18	8.88	-48.88
CANONIA Q. BOO	21.48	88.48	47.88	8.88	-47.38	47.88	8.88	-47.38
CD. ACULAMAN	38.38	108.88	48.88	8.88	-48.87	47.38	8.88	-48.88
CD. TAMAYUN GRD	18.38	108.88	48.38	8.88	-48.34	48.13	8.31	-108.81
CD. JALINTIMOC CHS	18.87	88.88	48.88	7.14	-48.78	48.88	8.88	-47.48
CD. DEL CARRIZO CAMP	18.48	81.88	48.81	8.88	-48.88	48.88	8.34	-48.84
CD. OUBAMAUN	18.78	108.47	88.31	8.78	-48.37	48.34	8.88	-101.18
CD. SANTE TAMPS	25.77	88.87	88.34	8.34	-108.38	88.34	7.48	-108.88
CD. SERRANILLA	27.88	108.88	48.78	7.81	-48.88	48.38	8.88	-47.88
CD. VILLALBA	21.87	88.88	88.18	8.88	-101.84	88.88	7.78	-48.88
CD. VICTORIA TAMPS	23.78	88.18	88.78	8.28	-48.81	48.78	7.41	-48.81
CHAYATA DFO	38.88	108.88	81.84	8.81	-108.88	88.87	8.88	-101.88
CHAYALBA	23.18	88.18	88.87	7.78	-48.38	88.87	8.88	-48.18
CHAYALBA BOB	18.38	88.18	48.78	8.28	-48.88	47.88	8.88	-48.88
CHAYALBA CH-S	38.38	108.88	88.88	8.88	-48.88	48.88	7.88	-48.38

ACULAMAN 1

R.S. O.D.N. 4

14

KV 98 84.88

CHILPANCHICO, GRC	17.38	59.80	-69.00	7.12	-68.78	-68.31	6.09	-69.80
CHICLAU, G.R.R.	21.46	87.35	-47.90	6.84	-87.23	-84.91	6.97	-87.47
CIUDAD JUAREZ, CHH	31.64	108.39	-66.80	4.40	-66.50	-47.80	9.89	-101.19
COATECOALCOE, VER.	18.20	64.43	-68.00	6.00	-67.80	-66.10	6.90	-67.10
COAHUILCO,	19.20	100.70	-69.60	6.80	-69.60	-68.64	6.70	-100.20
CORTAVALDIA,	16.24	68.11	-68.50	7.31	-68.50	-68.20	6.25	-67.70
CONCEPCION, JAL.	34.58	101.40	80.30	6.84	-80.13	-68.70	6.89	-80.20
CORTAVALDIA,	26.20	108.70	-68.71	6.70	-68.31	-68.20	6.90	-68.60
CORDOBA, VER.	18.80	69.80	-68.72	6.02	-69.60	-68.20	7.91	-69.41
COAHUILA, CHIHUITL, TEL.	27.80	87.40	-68.47	4.87	-68.40	-68.50	6.64	-68.50
COAHUILA, OAXACA, VER.	18.41	68.81	-68.64	6.97	-68.58	-68.20	6.52	-68.50
COAHUILA, G.R.O.	20.31	68.66	-47.87	6.97	-67.18	-68.91	6.16	-67.80
CUEPASA, CALAMOR,	18.90	69.20	80.48	6.72	-100.20	-69.80	9.80	-101.40
CUICUILAPAN,	34.80	107.40	-69.00	7.10	-68.70	-69.60	6.90	-68.60
DALLAS, TEX.	35.70	98.80	-19.20	-18.80	-19.70	-20.20	-16.20	-17.11
GUANAJUATO, G.R.O.	34.20	101.20	-68.80	6.20	-67.81	-68.20	6.90	-68.10
EL FUERTE, P.R.	28.48	100.81	-69.47	7.30	-68.87	-68.70	6.20	-68.20
ENSENADA, B.C.	31.80	118.27	81.14	7.80	-80.20	-80.20	9.80	-100.20
ENSENADA, COAH.	27.20	102.60	-69.87	6.81	-67.00	-68.20	8.64	-100.14
ESPIRA, YUC.	21.80	68.30	-68.83	6.04	-67.82	-68.11	6.40	-67.80
GUADALUPE, CHH.	28.84	107.08	-68.14	6.77	-67.80	-68.20	6.58	-67.80
GUADALAJARA, JAL.	26.40	100.20	80.20	6.80	-87.20	-68.20	9.70	-101.20
GUANAJUATO, G.R.O.	28.80	100.80	-68.82	6.20	-67.87	-68.10	6.80	-67.80
GUANAJUATO, G.R.O.	21.80	101.27	81.38	6.10	-66.71	-68.90	6.80	-100.20
GUAYMAS, B.C.	27.80	118.80	-69.80	6.81	-69.20	-68.20	6.80	-67.80
HERNANDEZ, JAL.	28.80	118.20	-68.10	6.20	-68.20	-68.20	6.20	-68.10
HICHAU, PARRAL, CHH.	30.18	100.80	-68.10	6.80	-67.87	-68.80	6.40	-67.80
HUALAQUILAN, LICON, DAL.	17.80	87.70	-68.68	6.21	-68.80	-68.80	7.20	-68.20
IGUALA, G.R.O.	18.40	68.20	80.20	6.80	-69.80	-68.20	9.80	-100.20
IGUALA, G.R.O.	20.87	101.30	81.20	7.80	-80.47	-80.40	6.80	-101.10
IGUALA, G.R.O.	28.48	99.21	80.21	9.80	-101.80	-80.20	6.80	-101.80
ITAPALAPA, G.R.O.	17.80	101.80	-68.87	6.21	-68.80	-67.81	7.20	-68.80
ITAPALAPA, Y.	21.80	104.40	-68.80	6.10	-68.71	-68.14	6.20	-100.20
ISAPALA, YUC.	20.80	88.80	-68.80	6.80	-67.27	-68.70	6.70	-67.20
ISCAR, DE M. PUE.	16.80	68.40	-69.70	6.77	-100.20	-68.20	6.27	-100.77
JALAPA, VER.	19.80	68.80	-68.10	6.80	-68.80	-68.20	7.20	-68.40
JALISCO, TITULICAL,	21.20	100.20	80.20	6.80	-80.80	-80.20	6.81	-100.20

MEXICOMEX

MEXICOMEX

15

TPE DE MEXICO

JALPAHALORO	31.21	56.47	66.66	16.66	-191.69	66.66	6.71	-100.21
JEBUA CARRANZA VER.	17.48	66.01	49.70	7.24	-66.66	-46.46	5.69	-67.49
JERABECORULL	34.49	69.90	31.21	1.30	-66.66	-49.99	7.47	-69.97
LA PALMIRA	34.19	119.14	-46.20	7.20	-66.67	-46.19	7.08	-66.39
LA PIEDRA TAMPA	23.60	97.77	-49.20	6.00	-66.69	-46.67	6.89	-66.19
LA PIEDRA MICH.	30.32	162.69	61.43	6.70	-66.29	60.49	10.14	-191.64
LAS CRUCES JALISCO	35.29	166.60	-46.27	3.99	-66.62	-46.79	6.89	-108.49
LAS VERNAS JALISCO	36.29	116.10	26.67	3.23	-66.69	-41.29	-6.46	-66.69
LASARDO CAND. MICH.	17.26	102.29	-46.26	2.99	-66.49	-46.26	7.76	-66.26
LEONICITO	31.67	191.28	11.29	7.79	-66.29	60.66	6.90	-100.49
LINDO VER.	16.60	66.60	-46.47	6.43	-66.61	-46.64	6.18	-67.66
LINARUELL	34.62	69.66	31.43	7.20	-66.79	-49.24	6.24	-69.74
LOMA BONITA VER.	16.10	66.99	46.60	7.33	-66.91	-46.60	6.60	-66.10
LORETO JALISCO	36.69	111.36	-46.12	6.29	-66.67	-46.64	6.63	-66.13
LOS ALAMOS JALISCO	36.69	196.30	-41.13	6.60	-64.70	21.64	0.63	-66.23
LOS ANGELES CAL.	34.89	179.69	-46.16	6.99	-67.16	-47.60	6.46	-67.60
LOS MOCHILES JALISCO	36.69	166.69	-46.67	7.66	-66.29	-46.63	6.61	-67.11
MADERA JALISCO	36.29	166.12	-46.66	6.13	-67.71	-46.21	7.09	-66.21
MANGUILLICO	16.66	126.29	-46.66	1.46	-66.46	-47.79	7.26	-66.29
MATAMOROS TAMPA	35.59	97.30	39.20	6.69	-66.19	-47.29	6.69	-100.29
MATEHUALA S.P.	23.69	165.64	29.61	7.62	-66.29	63.14	6.72	-66.22
MATIAS ROMERO CAL.	14.29	66.69	46.62	7.79	-69.27	-46.69	6.67	-67.27
MATATLAN JALISCO	23.32	168.44	46.66	6.34	-67.66	-46.14	7.64	-66.34
MEDINA JALISCO	36.69	66.37	-46.70	6.39	-66.69	-46.29	4.79	-66.29
MERCALLICO	36.69	116.46	-46.29	7.69	-66.29	-46.29	6.49	-67.69
MEXCOLD P.	16.36	69.61	66.29	6.29	-100.29	-46.69	10.29	-191.69
MEXICALTAN CAL.	46.29	66.69	-47.69	7.69	-66.11	-46.29	6.79	-67.29
MEXICALTAN COMA.	36.69	191.49	66.69	6.69	-67.11	-46.79	10.19	-191.69
MICHOACAN JALISCO	36.49	166.19	61.79	6.49	-67.29	-46.19	6.29	-100.29
MORIS JALISCO	19.69	191.16	61.63	7.29	-66.19	-46.29	16.69	-166.29
MORCILLAR JALISCO	36.29	166.69	-46.46	7.29	-66.69	-46.29	7.29	-66.29
MORILLAS JALISCO	31.29	67.79	-46.46	6.24	-166.69	-46.67	7.47	-66.67
MORILLAS CAL.	31.29	-166.69	-46.27	7.64	-66.49	-46.29	6.69	-67.46
MUCH. CAMAR. CAL.	36.49	167.69	-46.69	6.69	-67.64	-46.29	6.69	-100.16
MUÑOZ LAFRANCO TAMPA	27.39	66.21	61.16	6.69	-67.69	-46.19	16.69	-100.29
MUCACAL JALISCO	17.67	66.73	-46.29	6.64	-66.69	-46.69	6.47	-67.67
OCOTLAN JALISCO	36.29	168.79	66.69	6.69	-67.69	66.12	16.69	-191.69

SOLBANSAS 1
SECCION 4

16
T-3 DE 64 666L

QUINACA QHKL	28.27	104.24	80.11	4.18	-85.77	68.03	6.71	-167.21
ORIENTAL PULPE	19.48	87.82	-65.08	8.28	-103.43	68.24	6.27	-102.17
ORIZABA VBR	14.27	87.18	-65.88	8.28	-85.88	68.01	6.22	-85.72
PACHUCA HCO	20.18	88.37	-68.88	8.78	-101.33	68.88	6.41	-103.91
PHOENIX LAZAR	23.48	112.00	-63.78	5.04	-88.88	68.88	6.26	-81.74
PIEDRAS NEGRAS COAH	28.73	103.82	68.91	4.88	-85.44	47.87	6.18	-100.88
PUEBLA PULP QHKL	14.83	83.13	68.12	7.88	-88.88	68.42	6.38	-87.83
PHOENIX PULP QHKL	14.28	88.88	68.71	6.73	-88.21	47.23	6.88	-87.28
POMA RICA VBR	28.27	87.47	68.38	5.21	-100.48	68.21	7.84	-88.44
PUEBLA PULPE	1.88	88.28	68.88	6.90	-100.48	68.28	8.16	-100.88
PTOL. AMOHL QHKL	18.88	88.38	68.88	8.48	-88.87	47.87	4.88	-88.48
PTOL. ESCOBEDO DAK	18.28	87.18	68.88	8.28	-88.00	47.88	6.88	-88.88
PTOL. YALLARTAJAL	28.27	108.18	-68.88	4.28	-88.18	68.18	6.78	-108.28
QUERETANO QHKL	28.88	100.38	81.28	8.88	-100.88	68.81	8.88	-101.18
REYNOSA TAMPS	28.88	88.38	81.23	8.64	-88.43	68.81	8.73	-101.23
RIO GRANDE ZAC.	23.88	100.00	68.88	8.48	-88.84	80.21	6.43	-87.88
RODRIGO	28.18	104.82	68.48	6.42	-88.28	20.18	6.28	-88.88
RODRIGO ICHL	28.88	112.88	68.88	6.23	-88.11	68.88	7.23	-88.73
SABANA HEDALGO JAL.	28.88	180.18	81.48	6.27	-87.88	68.78	18.24	-181.84
SACRAMENTO CAL.	28.88	171.28	30.88	-4.11	-83.47	34.18	-14.81	-171.88
SALINA CRUZ QHKL	18.11	88.18	68.44	7.88	-88.23	68.13	8.78	-87.28
SALTILLO COAH	28.48	101.88	80.74	6.20	-87.78	68.23	6.18	-88.88
SAN ANDRÉS T. VBR	18.44	88.28	68.88	8.28	-87.83	68.73	8.88	-87.73
SAN ANTONIO TEB.	28.28	88.24	68.88	1.28	-88.88	68.28	6.28	-87.78
SAN BARTOLO Y. QHKL	18.48	88.87	68.18	7.78	-88.28	68.88	6.77	-87.27
SAN DIEGO CAL.	28.78	117.28	80.17	7.48	-88.88	68.23	8.41	-88.81
SAN FERNANDO TAMP.	24.28	88.14	88.21	7.21	-88.28	68.48	8.21	-88.21
SAN JUAN VBR	27.24	116.48	47.88	4.73	-88.21	68.48	6.38	-88.88
SILAHUÁ OLANO JAL.	21.28	108.21	88.88	6.88	-88.88	68.21	6.78	-108.28
SILAHUÁ QHKL QHKL	28.48	88.81	81.11	8.48	-101.87	88.73	8.78	-101.28
SILAHUÁ D. PAL. QHKL	47.28	108.81	81.27	6.12	-100.78	81.13	6.88	-108.88
SAN JUAN O.A.S.P.	23.28	108.88	68.81	8.88	-88.87	88.38	6.48	-87.88
SAN LUIS POTOSÍ VBR	23.18	108.88	81.88	6.78	-100.28	88.88	7.18	-88.88
SAN CRYSTIAN VBR	28.48	116.88	81.78	7.18	-88.78	88.88	6.28	-108.28
STPA. REYNOSA COAH	27.27	108.88	88.87	8.18	-88.88	68.24	8.78	-101.28
SANTA FE JALISCO	28.78	108.88	41.21	-6.21	-88.17	28.28	6.28	-88.28
STAYARD JALISCO	27.21	112.88	68.11	7.84	-88.23	68.38	6.84	-88.24

SANTIAGO P. DDO	26.86	108.42	46.66	6.47	-66.98	93.16	6.28	-97.66
TAMPICO TAMPS.	22.27	97.99	46.76	6.18	-100.76	66.89	6.99	-96.46
TAPACHULA CHI.	14.24	62.17	46.26	6.18	-77.76	-77.89	6.29	-97.12
TECOCTLALPAJ.	26.16	104.67	46.64	6.21	-62.26	66.69	6.49	-100.29
TEHUACAN PUE.	14.47	97.38	46.14	6.43	-100.61	66.69	6.26	-96.76
TEHUACAN VER.	21.89	86.49	46.44	6.82	-101.89	66.16	7.84	-98.24
TEHUACAN TAB.	17.89	81.43	46.23	6.22	-97.89	63.26	6.27	-97.77
TEHUACAN Y.	21.26	104.87	46.28	6.18	-66.77	66.89	6.89	-100.23
TEHUACAN JON.	26.28	117.81	46.26	7.70	-66.26	66.26	6.26	-100.26
TEHUACAN YUC.	27.15	86.15	46.71	6.84	-97.23	-46.62	6.26	-97.76
TEHUACAN ORO.	17.89	86.26	46.26	7.89	-66.24	66.26	7.86	-99.46
TEHUACAN PUE.	16.21	86.15	46.89	6.16	-100.76	66.44	6.46	-100.66
TEHUACAN ORO.	17.26	87.89	46.46	6.26	-66.84	66.26	7.26	-99.26
TEHUACAN ORO.	20.26	86.86	46.84	6.89	-101.23	66.26	6.21	-100.71
TEHUACAN ORO MEX.	16.26	86.87	46.86	6.77	-100.26	66.26	16.47	-101.87
TEHUACAN ORO.	16.26	86.79	46.26	7.89	-66.47	66.26	6.47	-97.84
TEHUACAN ORO MEX.	26.23	102.46	46.80	6.26	-97.76	66.76	7.89	-98.26
TEHUACAN ORO.	22.26	111.89	46.74	6.84	-66.63	47.26	4.06	-66.26
TEHUACAN ORO.	26.86	96.24	46.79	6.83	-101.21	66.26	16.89	-101.89
TEHUACAN TAMPS.	23.08	98.86	46.86	6.77	-100.26	66.26	7.23	-66.73
TEHUACAN ORO MEX.	16.46	83.87	46.89	7.46	-66.69	66.46	6.89	-97.26
TEHUACAN ORO MEX.	16.12	86.15	46.64	7.47	-66.89	66.89	6.76	-96.26
TEHUACAN ORO MEX.	16.41	102.89	46.26	6.89	-97.89	66.84	6.26	-101.89
TEHUACAN ORO MEX.	26.79	86.26	46.16	6.97	-67.89	66.89	6.89	-66.26
TEHUACAN ORO MEX.	22.76	100.89	46.14	6.14	-67.73	66.14	6.89	-66.42
TEHUACAN VER.	16.12	86.89	46.26	6.89	-66.89	66.26	6.89	-66.26
TEHUACAN ORO MEX.	17.89	86.26	46.79	6.89	-67.16	66.79	6.49	-66.26
ZACATECAS SAG.	22.77	100.26	46.77	6.77	-66.26	66.47	6.84	-66.14
ZACATECAS SAG.	17.26	86.26	46.73	7.79	-66.27	66.26	6.22	-67.73
ZACATECAS PUE.	16.89	87.87	46.24	6.26	-100.87	66.89	6.11	-100.81
ZACATECAS PUE.	67 26.79	86.26	46.64	16.16	-101.74	66.26	6.26	-100.46
ZACATECAS MEX.	16.89	100.26	46.26	6.19	-67.77	66.26	16.44	-101.84

LOS VALORES MOSTRADOS SON CONSIDERANDO EL ATP EN 9 dB.

SOLAMENTE 4
SOLAMENTE 41.8
TP 9 DB EN 9 DB.

Parámetros de Operación

Banda Ku



SERVICIO	BCPC EN TP. LINEALIZADO	BCPC	TV DIGITAL A TP. COMP.	TV DIGITAL A MEDIO TP.	TELEAUDIOPCION DIGITAL	
MPBO	(dB)	7.5	8.5	1.0	3.0	8.5
MOPBO	(dB)	5.1	4.0	0.3	2.0	4.0
A TP.	(dB)	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
DENSIDADES DE INTERFERENCIA						
INTERMODULACION						
ASCENDENTE	(dB Hz)	-109.0	-106.0	-115.15	108.3	106.0
DESCENDENTE	(dB Hz)	CTE	CTE	CTE	CTE	CTE
SATELITE ADYACENTE						
ASCENDENTE	(dB Hz)	-120.0	-122.5	-115.15	-108.3	122.5
DESCENDENTE	(dB Hz)	-12.0	-12.0	-16.7	-8.75	-12.0
POLARIZACION CRUZADA						
ASCENDENTE	(dB Hz)	-112.6	-112.6	-115.5	-108.3	-112.6
DESCENDENTE	(dB Hz)	106.5	-106.5	-115.5	108.3	106.5
CANALES ADYACENTES						
DESCENDENTE	(dB Hz)	110.0	-110.0	115.5	108.3	-110.0

Margen de Atenuación por lluvia (Región 4 Ku)



Margenes de atenuación

Zona Hidrometeorológica	Zona	Disponibilidad		
		99.90% (dB)	99.80% (dB)	99.50% (dB)
[Shaded Area]	Tx	1.50	3.00	3.50
	Rx	0.00	1.00	1.50
	Tr	0.00	1.00	1.50
Golfo Norte	Tx	0.00	0.00	0.00
	Rx	3.65	6.65	8.50
	Tr	1.60	4.60	7.20
GN	Tx	2.20	4.20	6.35
	Rx	0.20	2.20	4.30
	Tr	3.65	3.90	6.50
[Shaded Area]	Tx	1.60	3.90	6.50
	Rx	2.50	3.60	8.20
	Tr	0.50	3.60	6.20
Yucatán	Tx	2.90	6.00	8.90
	Rx	0.90	4.00	6.90

D

**SOFTWARE PARA
CÁLCULO DEL ENLACE**

' Programa que realiza el cálculo del enlace satelital y genera
' la memoria de cálculo de enlace

' Inicialización de Constantes

CONST pi = 3.141592654#
 CONST cvrad = pi / 180 ' Factor para conversión de radianes
 CONST vKB = -228.6 ' Constante de Boltzman
 CONST vC = 300000000 ' Velocidad de la luz
 CONST wmodulacion = "BPSK" ' Tipo de modulación

' Inicialización variables con las características del equipo

wfec = .5 ' FEC
 wfm = 1# ' Factor de Modulación
 wrolloff = .14 ' Roll Off
 wfasig = 1.37 ' Factor de asignación
 wEbNo = 6.6 ' Relación energía de bit a densidad espectral de ruido
 wTlna = 200 ' Temperatura de ruido del LNA

' Inicialización de variables relacionadas con el satélite

wdfsmex = -100.8 ' Densidad de flujo de saturación para México
 wdfsmty = -97.9 ' Densidad de flujo de saturación para Monterrey
 wdfsgdl = -97.2 ' Densidad de flujo de saturación para Guadalajara
 wdfsmxi = -99.2 ' Densidad de flujo de saturación para Mexicali
 watp = 20 ' Atenuador de posición del transpondedor
 wboi = 8.5 ' Back off de entrada
 wboo = 4 ' Back off de salida
 wfasc = 14250000000# ' Frecuencia de ascenso para banda Ku
 wfdes = 11950000000# ' Frecuencia de descenso para banda Ku
 wGTmex = 9.3 ' Figura de Mérito proporcionado por Telecomm para Mex
 wGTmty = 6.4 ' Figura de Mérito proporcionado por Telecomm para Mty
 wGTgdl = 5.6 ' Figura de Mérito proporcionado por Telecomm para Gdl
 wGTmxi = 7.6 ' Figura de Mérito proporcionado por Telecomm para Mxi
 whpainttx = -106 ' Intermodulación
 wpolcrtx = -112.6 ' Polarización cruzada ascendente
 wpolcrrx = -106.5 ' Polarización cruzada descendente
 wsatadytx = -122.5 ' Satélite adyacente Tx
 wsatadyrx = -12 ' Satélite adyacente Rx

' Parámetros que varían dependiendo la Estación Terrena

' Inicialización variables con las características geográficas

wlonsat = 109.2 ' Longitud del satélite
 wlonmex = 99.01 ' Longitud de la estación terrena Maestra
 wlonmty = 100.19 ' Longitud de la estación terrena Monterrey
 wlongdl = 103.2 ' Longitud de la estación terrena Guadalajara

```

wlonmxi = 115.45 ' Longitud de la estación terrena Mexicali
wlatmex = 19.35 ' Latitud de la estación terrena Maestra
wlatmty = 25.4 ' Latitud de la estación terrena Monterrey
wlatgdl = 20.4 ' Latitud de la estación terrena Guadalajara
wlatmxi = 32.65 ' Latitud de la estación terrena Mexicali

' Márgenes de atenuación por lluvia
wmmextx = 4.2 ' Para Tx México
wmmexrx = 2.2 ' Para Rx
wmmtytx = 1 ' Para Tx Monterrey
wmmtyrx = 0 ' Para Rx
wmgdltx = 5.9 ' Para Tx Guadalajara
wmgdlrx = 3.9 ' Para Rx
wmmxitx = 3 ' Para Tx Mexicali
wmmxirx = 1 ' Para Rx
wLAasc = 1 ' Pérdidas atmosféricas Tx
wLAtm = 1 ' Pérdidas atmosféricas Rx

wPIREsaturmex = 49.9
wPIREsaturmty = 49.1
wPIREsaturgdl = 49.9
wPIREsaturmxi = 49.5
wsatint = -92.4

' Cálculos previos
wErnex = 64.48 ' Ángulo de elevación de la antena México
wErnty = 58.63 ' Ángulo de elevación de la antena Monterrey
wEgdl = 65.12 ' Ángulo de elevación de la antena Guadalajara
wErnxi = 51.408 ' Ángulo de elevación de la antena Mexicali
wdmex = 36318131 ' Distancia de E/T maestra al Satélite
wdmty = 36586715 ' Distancia de E/T remota al satélite
wdgdl = 36291977 ' Distancia de E/T remota al satélite
wdmxi = 36990467 ' Distancia de E/T remota al satélite
CLS

' Lectura de datos
wstation1$ = "MEXICO"
PR INT "Estación Terrena Maestra : ", wstation1$
IN PUT "Estación Terrena Remota : ", wstation2$
INPUT "Diámetro de la antena de la E/T Maestra : ", wAntena1
INPUT "Diámetro de la antena de la E/T Remota : ", wAntena2
INPUT "Velocidad de información : ", winf
wstation2$ = UCASE$(wstation2$)

```

' Asignación de Datos para la estación terrena remota

IF wstation2\$ = "MONTERREY" THEN

wlonsta2 = wlonmty
wlatsta2 = wlatmty
wmsta2tx = wmmtytx
wmsta2rx = wmmtyrx
wGTsta2 = wGTmty
wPIREsatursta2 = wPIREsaturmty
wEsta2 = wEmty
wdsta2 = wdmty
wdfssta2 = wdfsmyt

ELSE

IF wstation2\$ = "GUADALAJARA" THEN

wlonsta2 = wlongdl
wlatsta2 = wlatgdl
wmsta2tx = wmgdltx
wmsta2rx = wmgdlrx
wGTsta2 = wGTgdl
wPIREsatursta2 = wPIREsaturgdl
wEsta2 = wEgdl
wdsta2 = wdgdl
wdfssta2 = wdfsgdl

ELSE

wlonsta2 = wlonmxi
wlatsta2 = wlatmxi
wmsta2tx = wmmxix
wmsta2rx = wmmxirx
wGTsta2 = wGTmxi
wPIREsatursta2 = wPIREsaturmxi
wEsta2 = wEmxi
wdsta2 = wdmxi
wdfssta2 = wdfsmxi

END IF

END IF

' Temperatura del sistema

IF wAntena1 = 7 THEN

wTantena1 = 21

END IF

IF wAntena1 = 4.5 THEN

wTantena1 = 22.41

END IF

IF wAntena2 = 4.5 THEN

wTantena2 = 22.41

```

END IF
IF wAntena2 = 2.4 THEN
  wTantena2 = 13
END IF
wTsisitematx = wTlna + wTantena1
wTsisitemarx = wTlna + wTantena2

' Cálculo del ancho de banda
wbwocu = winf * (1 / wfec) * wfm * (1 + wrolloff) 'Ancho de banda ocupado
wbwasj = wbwocu * wfasig 'Ancho de banda asignado

' Cálculo de Azimut para las E/T
wamex = TAN(ABS(wlonsat - wlomnmx) * cvrad) / SIN(wlatmex * cvrad)
wamex = (ATN(wamex) * (180 / pi)) + 180
wasta2 = TAN(ABS(wlonsat - wlonsa2) * cvrad) / SIN(wlatsta2 * cvrad)
wasta2 = (ATN(wasta2) * (180 / pi)) + 180

' Cálculo de pérdidas por dispersión y PIRE
wppbw = 10 * LOG(wbwocu / 54000000) / LOG(10) 'Parte proporcional del BW
wlpmex = 10 * LOG(4 * pi * (wdmex ^ 2)) / LOG(10)
wpiremex = wdfsmex + wlpmex + watp + wppbw - wboi
wlpsta2 = 10 * LOG(4 * pi * (wdsta2 ^ 2)) / LOG(10)
wpiresta2 = wdfsta2 + wlpsta2 + watp + wppbw - wboi

' Pérdidas en el espacio libre
wlstxmex = 20 * LOG((4 * pi * wdmex * wfasig) / vC) / LOG(10)
wCNoascmex = wpiremex + wGTmex - vKB - wlstxmex - wLAasc

wlstxsta2 = 20 * LOG((4 * pi * wdsta2 * wfasig) / vC) / LOG(10)
wCNoascsta2 = wpiresta2 + wGTsta2 - vKB - wlstxsta2 - wMsta2tx - wLAasc

' Cálculos para obtener la relación a ruido ascendente
wCNoascmex = wCNoascmex - (10 * LOG(wbwocu) / LOG(10))
wCNoascsta2 = wCNoascsta2 - (10 * LOG(wbwocu) / LOG(10))

' Relación portadora a ruido ascendente total
wipbomex = wdfsmex - wpiremex + wlpmex + watp + wLatm + wmmextx
wCImex = -whpaintx - wipbomex - (10 * LOG(wbwocu) / LOG(10))
wCXmex = -wpolertx - wipbomex - (10 * LOG(wbwocu) / LOG(10))
wCXsatmex = -wsatadytx - wipbomex - (10 * LOG(wbwocu) / LOG(10))
wCNtottxmex = (1 / (10 ^ (wCNoascmex / 10))) + (1 / (10 ^ (wCImex / 10))) + (1 / (10 ^
(wCXmex / 10))) + (1 / (10 ^ (wCXsatmex / 10)))
wCNtottxmex = 10 * LOG(1 / wCNtottxmex) / LOG(10)

```

$wipbosta2 = wdfsst2 - wpiresta2 + wlpsta2 + wstp + wLatm + wvmsta2ix$
 $wClsta2 = -wfpaintx - wipbosta2 - (10 * LOG(wbwocu) / LOG(10))$
 $wCXsta2 = -wpolcrrx - wipbosta2 - (10 * LOG(wbwocu) / LOG(10))$
 $wCXsasta2 = -wsatadyrx - wipbosta2 - (10 * LOG(wbwocu) / LOG(10))$
 $wCNtotixsta2 = (1 / (10 ^ (wCNasesta2 / 10))) + (1 / (10 ^ (wClsta2 / 10))) + (1 / (10 ^ (wCXsta2 / 10))) + (1 / (10 ^ (wCXsasta2 / 10)))$
 $wCNtotixsta2 = 10 * LOG(1 / wCNtotixsta2) / LOG(10)$

$wxlabda1 = vC / wfasc$
 $wxlabda2 = vC / wfasc$
 $GantenaMtx = 10 * LOG((6 * ((pi * wAntena1) / wxlabda1) ^ 2)) / LOG(10)$
 $GantenaMrx = 10 * LOG((6 * ((pi * wAntena1) / wxlabda1) ^ 2)) / LOG(10)$
 $Gantenatx = 10 * LOG((6 * ((pi * wAntena2) / wxlabda1) ^ 2)) / LOG(10)$
 $Gantenarx = 10 * LOG((6 * ((pi * wAntena2) / wxlabda2) ^ 2)) / LOG(10)$

' Cálculo del enlace de E/T maestra a E/T remota (DESCENDENTE)

' Perdidas en el espacio libre Descendentes

$GTmex = Gantenamrx - (10 * LOG(wTsystematx) / LOG(10))$

$GTsta2 = Gantenarx - (10 * LOG(wTsystemarx) / LOG(10))$

$wopboi = wboo - wboi + wipbomex$

$wlsrxmex = 20 * LOG((4 * pi * wdmex * wfdes) / vC) / LOG(10)$

$wlsrxsta2 = 20 * LOG((4 * pi * wdmty * wfdes) / vC) / LOG(10)$

$wpiresasta2 = -wdfstmex - wstp + wboi - wlpsta2 + wpiremex - wboo + wPIRESatursta2$
 $wCNdessta2 = wpiresasta2 + GTsta2 - vKB - wlsrxsta2 - wvmsta2rx - wLatm$
 $wCNdessta2 = wCNdessta2 - (10 * LOG(wbwocu) / LOG(10))$
 $wCidessta2 = -wsatint - wopboi - (10 * LOG(wbwocu) / LOG(10))$
 $wCXdessta2 = -wpolcrrx - wopboi - (10 * LOG(wbwocu) / LOG(10))$
 $wCXsastdessta2 = wpiresasta2 - (wsatadyrx - Gantenarx) - (10 * LOG(wbwocu) / LOG(10))$
 $wCNtotrxsta2 = (1 / (10 ^ (wCNdessta2 / 10))) + (1 / (10 ^ (wCidessta2 / 10))) + (1 / (10 ^ (wCXdessta2 / 10))) + (1 / (10 ^ (wCXsastdessta2 / 10)))$
 $wCNtotrxsta2 = 10 * LOG(1 / wCNtotrxsta2) / LOG(10)$

' Cálculo del enlace de E/T Remota a E/T maestra (DESCENDENTE)

$w2piresatmex = -wdfsst2 - wstp + wboi - wlpmex + wpiresta2 - wboo + wPIRESaturmex$

$w2CNdesmex = w2piresatmex + GTmex - vKB - wlsrxmex - wmmexrx - wLatm$

$w2CNdesmex = w2CNdesmex - (10 * LOG(wbwocu) / LOG(10))$

$w2OPBOi = wboo - wboi + wipbosta2$

$w2Cidesmex = -wsatint - w2OPBOi - (10 * LOG(wbwocu) / LOG(10))$

$w2CXdesmex = -wpolcrrx - w2OPBOi - (10 * LOG(wbwocu) / LOG(10))$

$w2CXsastdesmex = w2piresatmex - (wsatadyrx - Gantenamrx) - (10 * LOG(wbwocu) / LOG(10))$

$w2CNtotrxmex = (1 / (10 ^ (w2CNdesmex / 10))) + (1 / (10 ^ (w2Cidesmex / 10))) + (1 / (10 ^ (w2CXdesmex / 10))) + (1 / (10 ^ (w2CXsastdesmex / 10)))$

$w2CNtotrxmex = 10 * LOG(1 / w2CNtotrxmex) / LOG(10)$

' Evaluación del enlace Ascendente

```

xCNNototal = (1 / (10 ^ (wCNNoascsta2 / 10))) + (1 / (10 ^ (wCNNodessta2 / 10)))
xCNNototal = 10 * LOG(1 / xCNNototal) / LOG(10)
xCNtotal = (1 / (10 ^ (wCNtottxmex / 10))) + (1 / (10 ^ (wCNtotrxsta2 / 10)))
xCNtotal = 10 * LOG(1 / xCNtotal) / LOG(10)
xCNReq = wEbNo + (10 * LOG(winf) / LOG(10)) - (10 * LOG(wbwocu) / LOG(10))
xMargen = xCNtotal - xCNReq

```

```

xporcpot = (wpiresatsta2 - wPIRESatursta2 + wboo) / 10
xporcpot = (10 ^ xporcpot) * 100
xpothpa = wpiremex - GantenaMtx + 1
xpotwat = 10 ^ (xpothpa / 10)

```

' Evaluación del enlace de E/T remota a E/T maestra

```

x2CNNototal = (1 / (10 ^ (wCNNoascsta2 / 10))) + (1 / (10 ^ (w2CNNodesmex / 10)))
x2CNNototal = 10 * LOG(1 / x2CNNototal) / LOG(10)
x2CNtotal = (1 / (10 ^ (wCNtottxsta2 / 10))) + (1 / (10 ^ (w2CNtotrxmex / 10)))
x2CNtotal = 10 * LOG(1 / x2CNtotal) / LOG(10)
x2CNReq = wEbNo + (10 * LOG(winf) / LOG(10)) - (10 * LOG(wbwocu) / LOG(10))
x2Margen = x2CNtotal - x2CNReq

```

```

x2porepot = (w2piresatmex - wPIRESaturmex + wboo) / 10
x2porepot = (10 ^ x2porepot) * 100
x2pothpa = wpiresa2 - GantenaTx + 1
x2potwat = 10 ^ (x2pothpa / 10)

```

```

wbwutilizado = (wbwasi / 54000000) * 100

```

CLS

PRINT ""

PRINT "----- MEMORIA DE CÁLCULO -----"

```

  NT "DATOS GENERALES           ", wstation1$, " ", wstation2$
  JT "Diámetro de la antena     ", wAntena1, " ", wAntena2
PRINT "Ganancia de la antena Tx  ", GantenaMtx, " ", GantenaTx
PRINT "Ganancia de la antena Rx  ", GantenaMrx, " ", GantenaRx
PRINT "Temperatura total del sist.", wTsystematx, " ", wTsystemarx
PRINT "Figura de mérito (G/T)   ", GTmex, " ", GTsta2
PRINT "Densidad de flujo de sat. ", wdfsmex, " ", wdfsstas2
PRINT "Ajuste de ganancia ATP     ", watp, " ", watp
PRINT "Figura de Mérito del satel.", wGTmex, " ", wGTsta2
PRINT "Back Off de entrada      ", wboi, " ", wboi
PRINT ""

```

```

PRINT "----- ENLACE ASCENDENTE -----"
PRINT "E/T TRANS - E/T RECEP " , wstation1$, " , wstation2$
PRINT " " , wstation2$, " , wstation1$
PRINT "Perdidas por dispersion " , wlpmex, " , wlpsta2
PRINT "Perdidas por absorción atm " , wLatm, " , wLatm
PRINT "Back Off de entrada satel " , wboi, " , wboi
PRINT "PIRE/Portadora desde E/T " , wpiremex, " , wpiresta2
PRINT "Perdidas por el espacio Lib" , wlsrxmex, " , wlsrxsta2
PRINT "Constante de Boltzman " , vKB, " , vKB
PRINT "Margen de precipitación " , wmmextx, " , wmmsta2tx
PRINT "Relación G/T del satélite " , wGTmex, " , wGTsta2
PRINT "C/No Ascendente " , wCNAscsmex, " , wCNAscsta2
PRINT "C/N Ascendente " , wCNAscsmex, " , wCNAscsta2
PRINT "C/I Intermodulación " , wCIsmex, " , wCIsta2
PRINT "C/X polarización cruzada " , wCXmex, " , wCXsta2
PRINT "C/X Satélites adyacentes " , wCXsatmex, " , wCXsatsta2
PRINT "C/N total " , wCNTotrxmex, " , wCNTotrxsta2
PRINT ""
PRINT "----- POTENCIA NOMINAL REQUERIDA EN EL HPA -----"
PRINT " " , wstation1$, " , wstation2$
PRINT "PIRE/Portadora desde la E/T" , wpiremex, " , wpiresta2
PRINT "Back Off de salida " , wboo, " , wboo
PRINT "Ganancia de la antena en Tx" , GanenaMtx, " , Ganenatx
PRINT "Potencia nominal req dBW " , xpothpa, " , x2pothpa
PRINT "Potencia nominal req W " , xpotwat, " , x2potwat
PRINT "Margen de precipitación " , wmmextx, " , wmmsta2tx
PRINT ""
PRINT "----- ENLACE DESCENDENTE -----"
PRINT "E/T TRANS - E/T RECEP " , wstation1$, " , wstation2$
PRINT " " , wstation2$, " , wstation1$
PRINT "PIRE/Portadora desde el Sat" , wPIRESaturmex, " , wPIRESatursta2
PRINT "Back Off de salida " , wboo, " , wboo
PRINT "PIRE/Portadora desde el Sat" , w2piresatmex, " , wpiresatsta2
PRINT "Perdidas por el espacio Lib" , wlsrxmex, " , wlsrxsta2
PRINT "Margen de precipitación " , wmmexrx, " , wmmsta2rx
PRINT "Constante de Boltzman " , vKB, " , vKB
PRINT "Figura de Mérito (G/T) E/T " , GTmex, " , GTsta2
PRINT "C/No Descendente " , w2CNodesmex, " , wCNodessta2
PRINT "C/N Descendente " , w2CNdesmex, " , wCNdessta2
PRINT "C/I Intermodulación " , w2CIdesmex, " , wCIdessta2
PRINT "C/X Satélites Adyacentes " , w2CXsatdesmex, " , wCXsatdessta2
PRINT "C/X Polarización cruzada " , w2CXdesmex, " , wCXdessta2
PRINT "C/N Descendente del sistema" , w2CNTotrxmex, " , wCNTotrxsta2
PRINT ""
PRINT "--- FACTOR DE CALIDAD ---"

```

```
PRINT "E/T TRANS. - E/T RECEP. ", wstation1$, " ", wstation2$
PRINT "Relación C/No Total del sis", xCNtotal, " ", x2CNtotal
PRINT "Relación C/N Total del sis ", xCNtotal, " ", x2CNtotal
PRINT ""
PRINT "ORIGEN - DESTINO ", wstation1$, " ", wstation2$
PRINT " ", wstation2$, " ", wstation1$
PRINT "DIÁMETRO E/T Tx ", wAntena1, " ", wAntena2
PRINT "PIRE DE LA E/T Tx ", wpiremex, " ", wpiresta2
PRINT "PIRE del satélite utilizado", wPIREsaturmex, " ", wPIREsaturma2
PRINT ""
PRINT "--- SUMARIO DE ANCHOS DE BANDA REQUERIDAS EN EL SATÉLITE ---"
PRINT "ORIGEN - DESTINO ", wstation1$, " ", wstation2$
PRINT " ", wstation2$, " ", wstation1$
PRINT "Velocidad ", winf, " ", winf
PRINT "Modulación ", wmodulacion, " ", wmodulacion
PRINT "BW utilizado ", wbwasi, " ", wbwasi
PRINT "%BW Utilizado en el transp.", wbwutilizado, " ", wbwutilizado
```