



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN**

Tesis

**“RED SATELITAL PARA CONTINGENCIAS POR
HURACANES”**

Que presenta para obtener el título de Ingeniero Mecánico Electricista

Fernando Rocha Lara

ASESOR: ING. RAUL BARRON VERA



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Dedicatorias

A ti papá, que hiciste de mi el hombre que ahora soy, el camino fue largo y sin tu apoyo en todo momento, no hubiera logrado llegar al final de esta carrera.

A mis hijos, Vini y Luis Fer, que son el mayor tesoro que me ha dado la vida.

† Dedico este trabajo de trabajo de tesis a mi madre quien me apoyo en todo momento para terminar mi carrera y ser lo que ahora soy, y que desde el cielo cuida mis pasos en cada proyecto que emprendo en mi carrera profesional.

A mi esposa, que ha sido excelente compañera, apoyándome en cada uno de mis éxitos y fracasos, dándome consejos en mis días de flaqueza.

A mis sinodales:

Ing. Jesús Núñez Valadez

Ing. Julio Bernal Vera

Ing. Narciso Acevedo Hernández

Ing. Adrián Paredes Romero

Por el enorme apoyo y orientación brindado para el desarrollo de este trabajo de tesis.

A mi asesor de tesis:

Ing. Raúl Barrón Vera

Maestro y amigo invaluable que me ha instruido a lo largo de mi formación profesional.

Indice **Página**

Introducción

Capítulo Uno

I Introducción a las comunicaciones vía satélite	
1.1 Antecedentes	2
1.2 Terminología de las comunicaciones vía satélite	4
1.2.1 Tipos de Orbitas	4
1.2.2 Colocación en Orbita	12
1.2.3 Fuerzas perturbadoras	14
1.2.4 Clasificaciones orbitales , espaciamiento y asignación de frecuencia	16
1.2.5 Huella satelital	18
1.2.6 Reutilización de frecuencias	19
1.2.7 Modelos del enlace del sistema satelital	19
1.3 Sistemas de Satélite	21
1.3.1 Transponders	22
1.3.2 Bandas de frecuencia para satélite	25
1.3.3 Características de un satélite comercial moderno	29
1.4 Técnicas de modulación y protocolos acceso	30
1.4.1 Técnicas de modulación	30
1.4.2 Protocolos de acceso	36

Capítulo dos

II Sistema de satélites Mexicanos	
2.1 Sistema de satélite Morelos	47
2.2 Sistemas de satélite Solidaridad	50
2.3 Satélite Satmex V	65
2.4 Satélite Satmex VI	67
2.5 Huellas de cobertura de las bandas C y Ku del satélite Solidaridad II	69
2.6 Huellas de cobertura de las bandas C y Ku del Satélite Satmex V	74
2.7 Huellas de cobertura de las bandas C y Ku del Satélite Satmex VI	77

Capítulo tres

III Cálculos de Enlace	
3.1 Efectos de Propagación	84
3.2 Ruido	92
3.3 Figura de Merito (G/T)	98

3.4 Relación Portadora a Ruido (C/N)	104
3.5 Margen de Umbral	110
3.6 Figura de ruido	111
3.7 Probabilidad de error y tasa de error de bit	112
3.8 Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (P.I.R.E)	113
3.9 Densidad de Potencia del Satélite	113
3.10 Diseño de enlace satelital portadora digital SCPC	115

Capítulo cuatro

IV Estación Terrena Satelital para contingencias por huracanes	133
4.1 Características Generales de la Red	134
4.2 Recursos Satelitales	145
4.3 Características Técnicas de los Equipos Suministrados	151
Conclusiones	161
Anexo fotográfico	164
Glosario	183
Bibliografía	192

Introducción

Los satélites de comunicaciones tienen algunas propiedades interesantes que los hacen atractivos para muchas aplicaciones, ya que se los puede ver como una gran repetidora de microondas en el cielo. Un satélite contiene varios transponders, cada uno de los cuales capta alguna porción del espectro, amplifica la señal de entrada y después la redifunde a otra frecuencia para evitar la interferencia con la señal original. Los haces retransmitidos pueden ser amplios y cubrir una fracción sustancial de la superficie de la Tierra, o estrechos y cubrir un área de sólo cientos de kilómetros de diámetro.

En el contexto de la transmisión se utilizan dos conceptos fundamentales: el enlace ascendente o uplink y el enlace descendente o downlink. El modo en que se utilizan estos enlaces es el siguiente. En la estación terrestre, la señal se superpone a la portadora a una determinada frecuencia y se envía al satélite (enlace ascendente); en el satélite, una vez que se ha amplificado la señal, se superpone a una portadora a una frecuencia diferente de la anterior y se envía a la Tierra (enlace descendente).

En este trabajo cubriremos ampliamente los conceptos de comunicaciones vía satélite.

El primer capítulo nos hablara sobre el desarrollo de las comunicaciones vía satélite, los diferentes tipos de orbita en la cual puede operar un satélite, las fuerzas que pueden perturbar la vida del satélite de comunicaciones, conceptos como huella satelital, las partes que conforma un satélite de comunicaciones, bandas de frecuencia, técnicas de modulación y métodos de acceso.

El capitulo dos describe detalladamente el sistema de satélites mexicanos y sus huellas de cobertura

En el capitulo tres describiremos los conceptos requeridos para el cálculo de enlace, como atenuación, relación portadora a ruido, ganancia de antena, patrón de radiación, así como las diferentes formulas necesarias para el cálculo de enlace de subida y cálculo de enlace de bajada, motivo de este trabajo de tesis, para finalmente dimensionar el amplificador requerido para el enlace punto a punto vía satélite.

Finalmente, en el capitulo cuatro describiremos ampliamente el proyecto realizado como parte del sistema implementado por Telmex para la península de Baja California Sur en caso de contingencias por huracanes.

Capítulo Uno

I. INTRODUCCIÓN A LAS COMUNICACIONES VÍA SATÉLITE

1.1 Antecedentes

Un satélite de comunicaciones, en esencia, es un repetidor de señales de radio en el espacio. Las señales enviadas por las estaciones terrenas son recibidas, amplificadas y regresadas a la tierra. La característica primordial de un satélite es que puede manejar grandes cantidades de información abarcando grandes regiones de la Tierra.

A finales de los años 50, Estados Unidos y la Unión Soviética comenzaron el desarrollo de los satélites y de los vehículos de lanzamientos necesarios para colocarlos en órbita. El 4 de octubre de 1957 la antes URSS logró alcanzar al espacio el Sputnik I, cuyo objetivo era determinar los parámetros de las capas superiores de la atmósfera y la ionosfera. Su forma era esférica y su órbita elíptica. Este artefacto era capaz de lograr 15 vueltas completas alrededor de la tierra en sólo 24 horas. Como cuerpo espacial dio un total de 1400 vueltas alrededor del planeta en 92 días.

Para no quedarse al margen, Estados Unidos lanzó el Explorer en enero de 1958, En diciembre de ese mismo año, puso en órbita el primer satélite de comunicación activo del mundo, el Score, perteneciente a la Armada.

El interés por lograr la comunicación a través de los satélites invadía a la mayor parte de los países, por lo que los resultados no se hicieron esperar.

A principios de la década de los años 60's la NASA inició el experimento Echo que comprendía la construcción de aparatos pasivos, con capacidad para comunicaciones de acceso múltiple, con el inconveniente de que no se realizaba óptimamente la potencia de transmisión.

De todos estos proyectos experimentales, tal vez el más conocido es el Telestar de Canadá, el primero capaz de transmitir programas de televisión de un lado a otro del océano Atlántico, fue lanzado desde Cabo Cañaveral en 1962. Casi un año después fue lanzado el Telestar II, cuya capacidad total era de 600 canales telefónicos o un canal de televisión. Estos satélites se encontraban en una órbita de 682 a 4030 millas de nuestro planeta.

Después de varios años de investigación, se presentó una nueva meta: elevar la altura de los satélites para que alcanzaran un periodo de rotación alrededor de nuestro planeta en 24 horas. Así, cuando el satélite se localizara sobre el plano sería igual a la de la Tierra. El primer satélite de este tipo, fue el Sycom II, lanzado en 1963, el cual transmitió señales de televisión durante los juegos olímpicos de Tokio en 1964. Sin embargo las comunicaciones comerciales por satélite comenzaron oficialmente en 1965, cuando se lanzó el INTELSAT I (Pájaro Madrugador) que tenía un circuito de voz equivalente a 240 canales de voz o uno de televisión y proporcionaba servicios entre Europa y Norteamérica únicamente. Ese mismo año la antes Unión Soviética lanzó el satélite Molniya.

En enero de 1966, INTELSAT I quedó fuera de servicio y fue sustituido por las series INTELSAT II y III, cuya cobertura abarcaba el Atlántico y el Pacífico.

El INTELSAT II tenía la misma capacidad que su antecesor, sin embargo, las características de INTELSAT III constituyeron un gran avance tecnológico ya que contaba con 1500 canales de transmisión.

Para 1972, Telestar de Canadá puso en órbita el primer satélite para uso privado del mundo: Anik, con capacidad de 500 canales de voz.

De ahí se desencadenó el uso internacional las comunicaciones vía satélite y para nuestros días varios países que hacen uso de las comunicaciones satelitales rentan capacidad a grandes consorcios como INTELSAT, el cual está integrado por 125 países miembros; posee y explota el sistema mundial de telecomunicaciones por satélite, empleado por 180 países miembros y no miembros para comunicaciones internacionales y domésticas.

Las comunicaciones vía satélite han alcanzado en la actualidad una etapa muy interesante en su desarrollo. Los satélites de comunicaciones permiten hoy en día establecer enlaces con lugares muy alejados o que previamente eran Inaccesibles, y la cantidad y variedad de la información que transmiten y reciben es sorprendente. Por ejemplo, se pueden ver en vivo programas de televisión que se están transmitiendo en otra ciudad o país, hablar por teléfono a cualquier parte del mundo, transmitir todas las páginas de un periódico a un lugar remoto para que se imprima localmente, realizar juntas de trabajo a distancia mediante teleconferencias, etc.

1.2 Terminología de las Comunicaciones Vía Satélite

1.2.1 Tipos de Órbitas

Un satélite permanece en órbita alrededor de la Tierra debido a que la fuerza centrífuga causada por la rotación del satélite es de la misma magnitud que la fuerza de atracción de la gravedad de la tierra sobre el satélite.

La velocidad del satélite depende de la altura de la órbita con respecto a la Tierra, entre más cerca está el satélite de la Tierra, mayor es la fuerza de la gravedad y en consecuencia a mayor velocidad debe viajar el satélite para evitar caer a la Tierra.

1.2.1.1 Órbitas Polares

Las órbitas polares se utilizan principalmente para satélites meteorológicos, con alturas de aproximadamente 1600 km. y períodos de órbitas de aproximadamente 100 min. Durante una revolución del satélite, sin embargo, la tierra rota aproximadamente 25°. Por lo tanto el punto subsatelital de una órbita polar traza círculos alrededor de los polos, los cuales están separados por 25° respecto al ecuador. Las órbitas polares normalmente se diseñan para ser *solar-síncronas*, de tal manera que el satélite redibuje la misma órbita a la misma hora del día, y por lo tanto “mira” hacia la tierra cada día en condiciones de iluminación idénticas.

1.2.1.2 Órbitas Inclinas

Las órbitas inclinadas pueden proporcionar visibilidad a las latitudes altas del norte y sur, aunque requieren de estaciones terrenas que sigan continuamente al satélite.

Esto a veces necesita una operación de adquisición e involucra la donación de un espacio orbital a otro satélite nuevo. Además, las órbitas inclinadas normalmente requieren satélites múltiples, espaciados adecuadamente a lo largo de la órbita con el fin de proporcionar una cobertura continua a una estación terrena en particular. Los satélites en órbitas inclinadas poseen órbitas que son más elípticas

que circulares. Como resultado, el satélite se mueve a una altura mayor durante algunas porciones de su órbita. La altura pico es conocida como *apogeo*, mientras que la altura mínima es llamada *perigeo*. El satélite tiene una velocidad menor durante la fase de apogeo que durante la de perigeo. Esto significa que el punto subsatelital se mueve más lento durante el apogeo, y más rápido mientras pasa a través del perigeo. Por esta razón una órbita inclinada se diseña de manera que el apogeo se coloque sobre la porción de la Tierra de mayor interés, proporcionando mayor visibilidad. Una órbita inclinada importante es la órbita *Molnya* utilizada por los satélites de la extinta Unión Soviética. La órbita está inclinada por 63° , y tiene un período de 12 hr con un apogeo de aproximadamente 40,000 km. sobre la porción norte de su órbita.

La red de satélites de posicionamiento global utiliza 24 satélites Navstar distribuidos sobre tres planos inclinados por 63° respecto al plano ecuatorial, y separados entre sí por 120° . Cada plano contiene ocho satélites espaciados en órbitas de forma circular de 12 hr a una altitud de aproximadamente 19,200 km. Los planos y órbitas han sido seleccionados para garantizar que al menos seis satélites estarán en la línea de vista desde cualquier punto de la Tierra en cualquier momento para proporcionar señales de navegación.

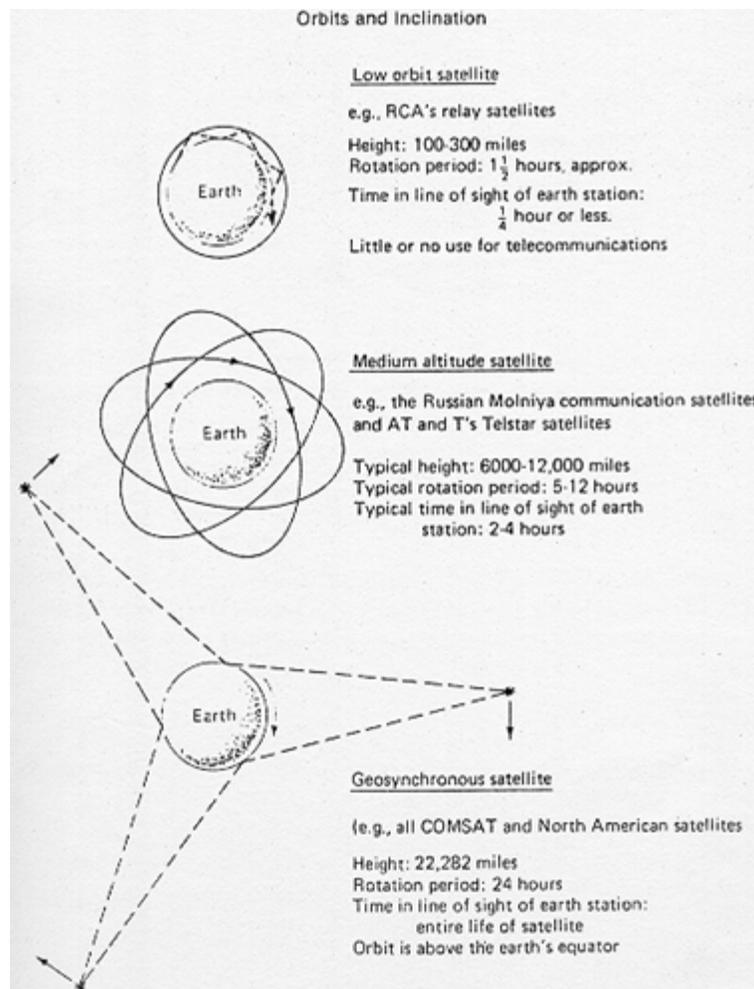


Figura I.1 tipos de órbitas en las que puede ser colocado un satélite

1.2.1.3 Órbita Baja

Si la altura de la órbita aumenta, entonces se reduce la velocidad satelital requerida, mientras que se incrementa el período de la órbita. A los satélites con alturas en el rango de los 2 000 a 4 000 Kms, se les conoce como *Orbitadores de Baja Altura* (LEO - Low Earth Orbiters), y poseen un periodo de 90 minutos. Existen dos tipos de órbitas LEO: polares y elípticas. Ventajas: el tiempo de propagación de la señal es bajo y proporciona cobertura mundial. Inconvenientes: es necesario corregir continuamente la órbita debido al efecto de la atmósfera y son necesarios muchos satélites para cubrir el globo.

El primer satélite repetidor de radio COURIER fue lanzado en 1960 en órbita baja, tenía la capacidad de almacenar 360000 palabras de teletipo para ser retransmitidas cuando pasaba por las estaciones terrenas a lo largo de su órbita.

Los satélites TELSTAR están en órbita baja y elíptica de 600 a 3800 millas. El apogeo de la elipse está de manera que el satélite este visible en ciertas zonas el mayor tiempo posible. El tiempo que le toma al satélite completar una órbita es 2 horas y 38 minutos.

Los satélites Rusos también utilizan órbitas elípticas para sus satélites de comunicaciones MOLNIYA, sus órbitas son más largas que las de satélites de órbita baja permitiendo ver al satélite durante más tiempo.

La desventaja en los satélites de órbita baja y media es que el tiempo efectivo que puede ver una estación terrena al satélite es muy corto; en algunos casos menor a media hora.

1.2.1.4 Órbita Media

Órbita Media (MEO): Situados a una altitud de 10 000 Km. Su periodo es de 6 horas. Un sistema de comunicación que los utilizase sólo necesitaría 3 ó 4 satélites, pero el tiempo de propagación es alto.

1.2.1.5 Órbita muy Elíptica

Órbita muy Elíptica (REO): Tienen el perigeo a unos 500 Km. y el apogeo a 50 000. Las órbitas están inclinadas 63.5 grados para poder dotar de servicios de comunicación a las zonas más al norte. El periodo varía de las 8 a las 24 horas. Debido a la gran excentricidad de la órbita pasa mucho tiempo en el apogeo, por lo que parece estacionario desde la Tierra. La potencia de recepción es baja y el tiempo de propagación elevado, por lo que se utilizan para redifusión directa.

1.2.1.6 Órbita Geosíncrona

En 1945, Arthur C. Clarke sugirió en una de sus publicaciones la posibilidad de colocar satélites artificiales en una órbita tal que al observarlos desde un punto sobre la superficie de la Tierra parecería que no se moviesen, como si estuviesen colgados en el cielo. Los satélites no cambiarían aparentemente de posición y esto traería consigo grandes ventajas pues, tal como se verificaría años más tarde, su operación se simplificaría y el costo de los equipos terrestres necesarios para utilizarlos se reduciría, en relación con el uso de otras órbitas. Además, casi la

totalidad del mundo habitado se podría intercomunicar por radio con sólo tres satélites colocados en esa órbita tan especial.

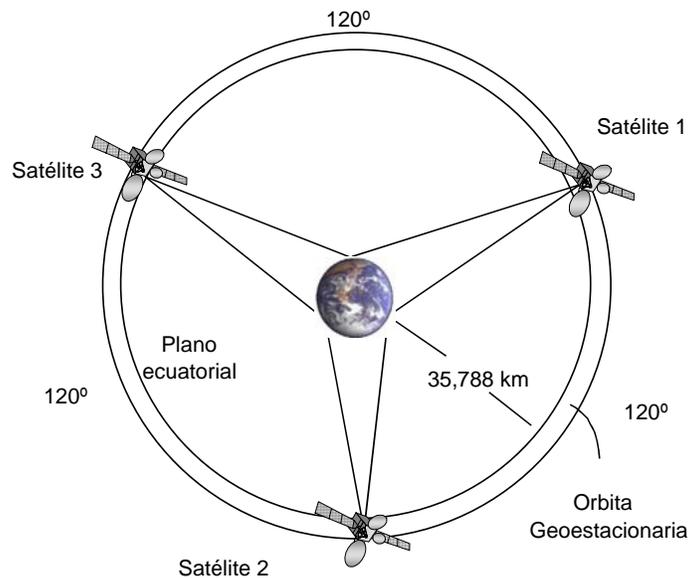


Fig. I.2 Tres Satélites en la Órbita de Clarke para una Cobertura Global

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

Para poder crear un sistema tal debían cumplirse varios requisitos. En primer lugar, el satélite debía desplazarse en el mismo sentido de rotación que la Tierra; además, para que no perdiese altura poco a poco y completara una vuelta cada 24 horas, debía estar a aproximadamente 36000 km. de altura sobre el nivel del mar; para lograrlo, el satélite debía tener una velocidad constante de 3075 m/s, siguiendo una órbita circular alrededor de la Tierra.

En 1957, con el lanzamiento del Sputnik 1, y después de varias pruebas con algunos otros satélites, al fin se colocó en órbita el primer satélite geoestacionario del mundo, llamado SYNCOM. Poco más tarde, había un satélite Intelsat III sobre cada uno de los océanos principales (Atlántico, Pacífico e Índico), intercomunicando al mundo.

La órbita en cuestión recibe el nombre de órbita geoestacionaria, pero con frecuencia muchos autores e investigadores también se refieren a ella como el Cinturón de Clarke. En la actualidad, ésta es la órbita más congestionada alrededor de la Tierra; muchos propietarios de satélites, sino todos, quieren estar ahí por obvias razones de sencillez y bajo costo de operación. En ella se encuentran satélites de apariencia física y aplicaciones muy diversas: meteorológicos, militares, experimentales y de comunicaciones.

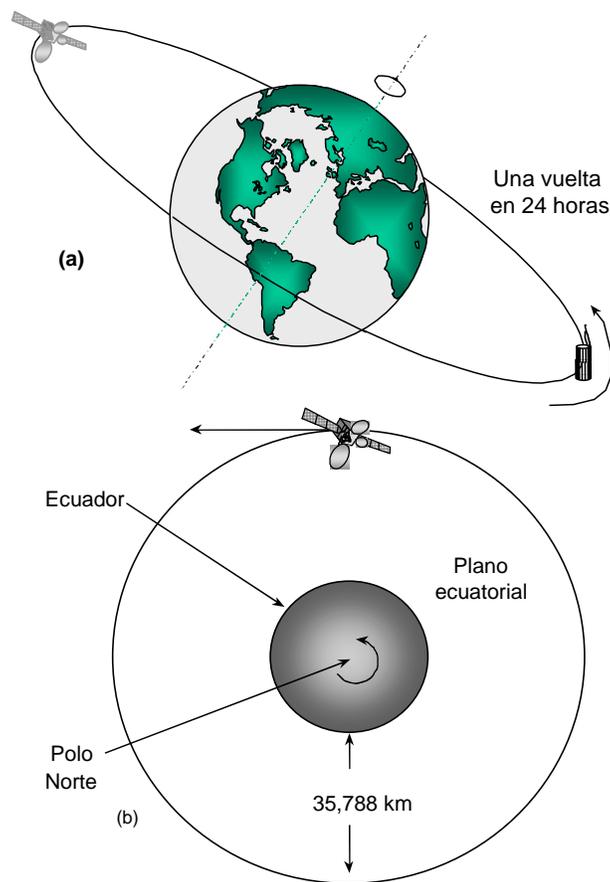


Fig. I.3 Rotación de los Satélites Geoestacionarios. (a) vista lateral (b) vista superior

Los satélites colocados en órbitas síncronas pueden ser localizados por su posición de longitud estacionaria efectiva relativa a la Tierra. Estas posiciones pueden ser identificadas por las líneas de longitud al ecuador al cual cae el punto subsatelital. Si la tierra es vista desde arriba del Polo Norte, la órbita síncrona

aparecerá como un círculo en el plano ecuatorial a través del centro de la Tierra. Los puntos en este círculo se pueden identificar por sus ángulos longitudinales, con cero grados respecto al meridiano de Greenwich y ángulos definidos ya sea en la dirección este u oeste. El rango de ángulos desde aproximadamente 55° W hasta aproximadamente 160° W representan localidades favorables para el continente Norte Americano. Las posiciones orbitales para los satélites que operan a la misma frecuencia se han designado con espaciamentos mínimos de 2° .

Si un satélite en órbita geoestacionaria, y un punto subsatelital es proyectado hacia la Tierra de manera normal, el punto subsatelital permanecerá teóricamente en un punto fijo sobre el ecuador. Sin embargo, los satélites geoestacionarios pueden moverse debido a efectos gravitacionales de la Luna y el Sol provocando que la órbita se incline ligeramente. Después de un período de un año por ejemplo, estos movimientos, si no se corrigen, pueden producir una inclinación de varios grados. Este movimiento provocará que un punto subsatelital sobre la Tierra oscile en forma de 8. La dimensión del movimiento en forma de 8 crecerá proporcionalmente de acuerdo al crecimiento de la inclinación. Por esta razón se realizan ciertos ajustes de control de posición (*station keeping*) de manera ocasional para compensar los movimientos involuntarios.

Una desventaja de los satélites geoestacionarios es que los puntos en la Tierra más allá de los 80° de latitud no son visibles. Por otro lado, los satélites geoestacionarios requieren estaciones terrenas simples, sin sistemas de seguimiento, ya que estos satélites permanecen casi en el mismo punto en el cielo. Sin embargo, aún con acciones de control de posición un satélite geoestacionario puede tener una variación en su posición de aproximadamente $\pm 1^{\circ}$, simplemente debido a la elipticidad de la órbita. Esto significa que siempre se presentará a una incertidumbre en la localización real del satélite de alrededor ± 40 km.

Órbita	Altura sobre el nivel del mar	Velocidad del satélite	Función del satélite	Ventaja de la órbita
Órbita baja	250 - 1500 km	7.755-7113 km/s	Comunicación móvil y observación de la Tierra	Poco retraso en las comunicaciones, y requiere menor potencia
Órbita Polar	500 - 800 km sobre el eje polar	7.613-7.452 km/s	Clima y navegación	Se encuentra perpendicular al Ecuador por lo que al rotar la Tierra, observa distintas regiones del planeta
Órbita geoestacionaria	35786km, sobre el plano ecuatorial	3.075 km/s	Comunicación, clima y navegación (GPS)	Al rotar a la misma velocidad de la Tierra, el satélite se percibe fijo en el espacio y le da especial servicio a una región en particular.
Órbita elíptica (Tipo Molniya)	Perigeo (cuando está más cerca de la Tierra): 200- 1000 kms. Apogeo (cuando está más lejos de la Tierra): ~39,000 kms.	~9.5 km/s ~1.5 km/s		

Tabla I.1 Resumen de tipos de órbitas

1.2.2 Colocación en Órbita

La ciencia de la dinámica orbital de satélites es un delicado juego entre las fuerzas de resistencia atmosférica y la gravedad por un lado, y la masa y la velocidad por el otro. Los satélites artificiales normalmente operan entre los 500 y 36,000 Km. sobre la superficie terrestre. Pueden circular alrededor del ecuador, a varios ángulos del ecuador o hasta pasar sobre los polos Norte y Sur.

La atmósfera es el primer elemento que trabaja en contra de los satélites en órbita. La atmósfera en la que vivimos, termina aproximadamente a 12 Km. hacia arriba, y contiene más o menos 2 Kg. de gas por metro cúbico. A 320 Km. que es la mínima altura de órbita para un satélite, se encuentran tres o cuatro átomos por metro cúbico que pueden chocar contra el satélite, o cual no los afecta y pueden hacer que viajen más o menos para siempre. Esto es exactamente lo que la luna ha estado haciendo por miles de millones de años.

Los satélites de comunicación orbitan el ecuador a 35,700 Km. sobre el nivel de la Tierra. A esta altura, la atmósfera contiene sólo 8 moléculas por metro cúbico. Como resultado, un satélite de comunicaciones puede orbitar la Tierra indefinidamente.

La atmósfera no es la única cosa que disminuye con la altitud. La fuerza de gravedad de la Tierra también lo hace, a pesar de que nunca desaparece por completo como sucede con la atmósfera. Es por esta razón, que la gravedad es un elemento crítico que debe considerarse al poner un satélite en órbita.

Primero, el trabajo de levantar un satélite lo suficientemente alto para ponerlo en órbita, significa vencer una enorme fuerza gravitacional. Se requiere aproximadamente 140 toneladas de cohete lanzador para poner una tonelada de satélite en una órbita baja. Es necesario un vehículo que sea aproximadamente 4 veces mayor para poner este mismo satélite en una órbita de 37,500 Km. de altura. Los ingenieros expertos en cohetes lanzadores saben que se puede aprovechar un impulso "gratis" si lanzan los satélites hacia el Este, en la misma dirección en que la Tierra gira. Esto es debido a que los objetos que se encuentran asentados en la superficie giratoria de la Tierra, ya se encuentran pasando del Oeste al Este a más de 1,600 Km/hr y un cohete lanzado en la dirección de la rotación se suma a esta velocidad.

Pero aún así, la altitud por sí sola no es suficiente. Además de que exista algo más para contraponer la fuerza de la gravedad, un satélite en órbita alta se regresaría a la Tierra de cualquier forma. Ese algo se llama "inercia". La inercia es

la tendencia de un objeto en reposo de quedarse así, y de un objeto en movimiento de seguir en línea recta. La cantidad de inercia que un objeto tiene se llama momentum, lo cual es proporcional a su masa y velocidad.

Si se permite que un satélite viaje sólo, éste continuaría en línea recta. Sin embargo, la gravedad lo atrae y consecuentemente su trayectoria se curva. Es de esta forma como se crea su órbita.

Lograr una "órbita estable" significa balancear la inercia y la fuerza gravitacional. La teoría de los ingenieros orbitales es casi siempre estacionar a los satélites en una órbita circular, que la mayoría están diseñados para trabajar a una altura constante. Pero además existen las órbitas elípticas que llevan a una nave espacial lejos de la Tierra en un momento y después nuevamente la acercan, también pueden ser útiles. Estos satélites deben viajar más rápidamente para mantener una órbita terrestre baja (donde la gravedad es más fuerte) que para mantener una órbita más alta. Si su órbita es elíptica, acelerará cuando se acerque a la Tierra y desacelerará cuando se aleje.

Todo esto hace posible la existencia de satélites de comunicaciones. Es una cuestión de altitud. Desde la Tierra, un satélite en órbita a unos cientos de kilómetros de altura se mueve lentamente a través del cielo y cada 90 minutos regresa otra vez.

En teoría, se puede lanzar un satélite directamente hacia una órbita geosíncrona, pero las posibilidades de fallar son muy altas y el costo de combustible para realizar tal hazaña también es elevado. Así que los ingenieros prefieren realizar la puesta en órbita en tres pasos:

Primero, el satélite es lanzado a una órbita circular "estacionaria" a unos 200 Kms. de altura. Segundo, su propio motor lo impulsa hacia una órbita elíptica de "transferencia" que va desde 300 a 400 Kms. de altura. Finalmente, un encendido final de sus motores lo saca de la órbita de transferencia y lo coloca en una órbita circular geosíncrona final. Este proceso se completa normalmente en varias semanas. Cuando todo ha terminado, el satélite queda colocado en su posición orbital designada, que puede variar entre 70 y 130 Kms. cuadrados. Como acto final, el satélite de comunicaciones inicia sus operaciones de recepción y transmisión. Pero eso no es todo, hasta el satélite más escrupulosamente posicionado puede eventualmente salirse de su posición orbital. Los operadores en el centro de control continuamente lo tiene que centrar a su posición correcta activando unos pequeños cohetes que se encuentran a bordo del satélite.

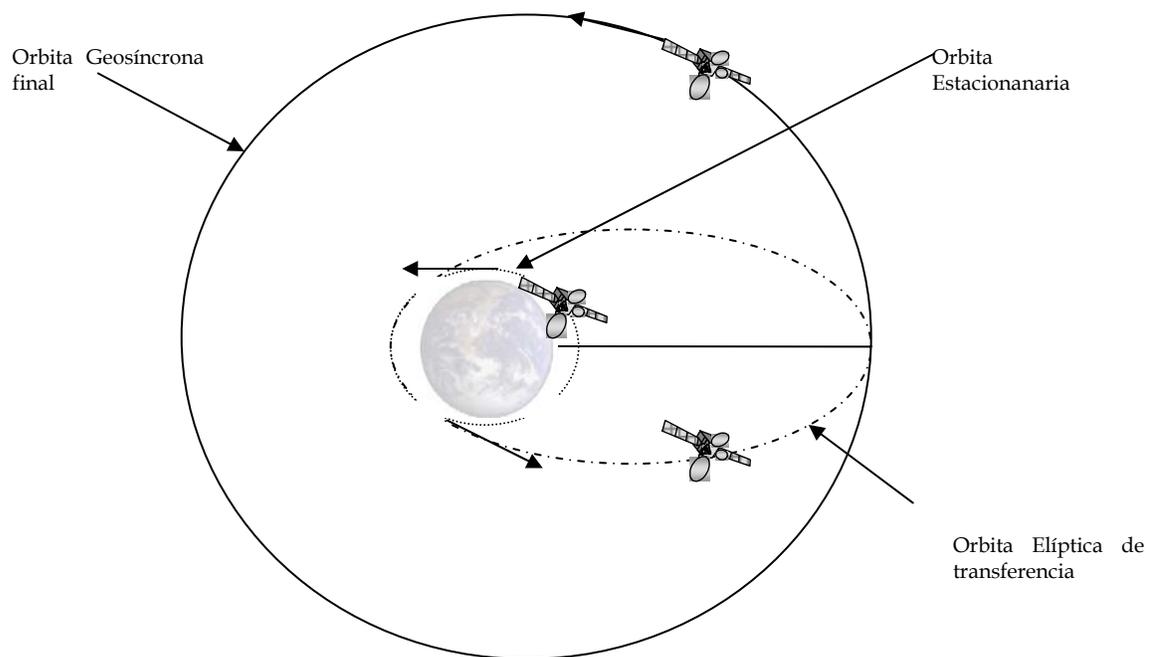


Fig I.4 Secuencia de posicionamiento orbital

1.2.3 Fuerzas perturbadoras

Tres factores principales explican porque tienden a moverse de su lugar estos satélites geoestacionarios. Uno es debido a la imperfección de la misma Tierra, dicho de una manera simple, nuestro planeta es desigual y su atracción gravitacional varía de lugar a lugar. Segundo, los satélites están expuestos a un débil viento creado por la radiación solar y finalmente, la atracción gravitacional combinada de la Tierra, la Luna y el Sol causan que la órbita del satélite se incline.

Es obvio que el ambiente espacial también es muy severo con los satélites. El Sol bombardea cada metro cuadas de la superficie de 1 satélite con aproximadamente 190 watts de luz visible e infrarroja.

La fuerza que más le afecta es el campo gravitatorio de la Tierra produciendo un par; esta fuerza hace que el satélite gire alrededor de su centro de masa y que su velocidad varíe conforme se desplaza sobre su órbita provocando que el satélite cambie de posición en longitud.

El campo gravitatorio de la Tierra es la fuerza de mayor influencia sobre la posición y orientación del satélite, debido al gran tamaño que tiene el planeta y a la relativa cercanía del satélite al mismo. La Luna también ejerce una ligera fuerza gravitatoria perturbadora. Sin embargo, como esta última es mucho más pequeña que la Tierra y además se encuentra diez veces más lejos del satélite que éste de la superficie del planeta, su efecto comparativo es mínimo, al igual que en el caso de la fuerza gravitacional perturbadora del Sol. De cualquier manera, la combinación de estas fuerzas produce un movimiento del satélite perpendicular al plano ecuatorial.

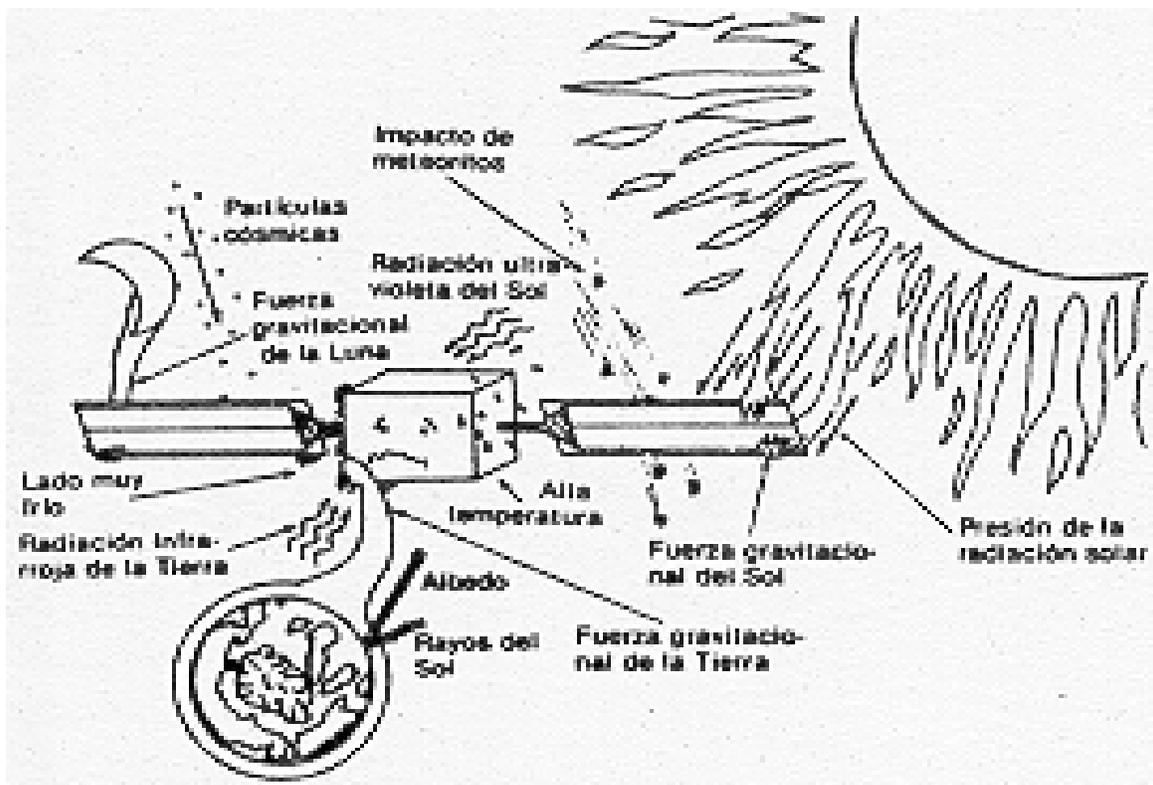


Fig I.5 Fuerzas perturbadoras

Otra fuerza que también produce cambios en la posición y orientación del satélite es la presión de la radiación solar sobre la superficie de su estructura.

Esta fuerza acelera al satélite y debido a la mayor superficie de contacto su efecto es mayor en satélites que tienen sus arreglos solares montados sobre paneles desplegables o extensibles que sobre satélites de configuración cilíndrica.

Cuando hay una colisión de un micrometeorito con el satélite, el primero lo transmite un momento al segundo que modifica ligeramente su posición y orientación.

Por otra parte, la posición y orientación del satélite no son modificadas solamente por las fuerzas externas que se han mencionado, sino que el propio satélite también genera otras fuerzas perturbadoras. El hecho de que haya movimiento en sus antenas, sus arreglos solares o el combustible que quede dentro de sus tanques de almacenamiento, produce pares o fuerzas que afectan al satélite.

Por último, la misma radiación radioeléctrica de las antenas del satélite produce una presión, cuyo efecto es importante cuando la potencia de transmisión del satélite es alta y está concentrada en un haz de iluminación muy angosto. Esta fuerza origina un giro del satélite por lo que se debe diseñar con antenas colocadas simétricamente con respecto a su centro de masa, o bien, el eje de radiación principal de la antena debe contener dicho centro de masa.

Como se ha visto todas las fuerzas perturbadoras antes mencionados modifican la órbita del satélite afectando el nivel de recepción en las estaciones terrenas.

Cuando el combustible de un satélite llega a tres libras, es tiempo de retirarlo. Los operadores en el centro del control, usan el combustible restante para empujarlo a nos 200 Km más alto. Entonces es apagado para que no interfiera con otros satélites activos. Su antena parabólica permanece desplegada pero inactiva. Una vez instruido para dejar de reportar su condición a la Tierra, el satélite se vuelve "invisible" para el equipo de rastreo terrestre.

1.2.4 Clasificaciones orbitales, espaciamento y asignación de frecuencia

Hay dos clasificaciones principales para los satélites de comunicaciones: hiladores (spinners) y satélites estabilizadores de tres ejes (triaxiales). Los satélites spinner, utilizan el movimiento angular de su cuerpo giratorio para proporcionar una estabilidad de giro. Con un estabilizador de tres ejes, el cuerpo permanece fijo en relación a la superficie de la Tierra, mientras que el subsistema interno proporciona una estabilización de giro.

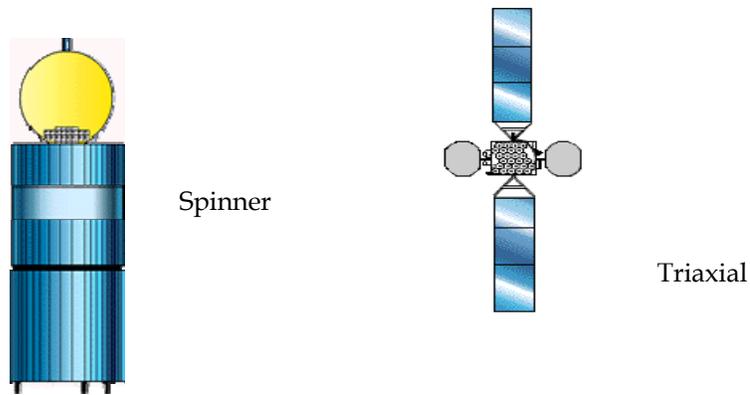


Fig I.6 Clases de satélites

Los satélites geosíncronos deben compartir un espacio y espectro de frecuencia limitados, dentro de un arco específico, en una órbita geoestacionaria. Cada satélite de comunicación se asigna una longitud en el arco estacionario, aproximadamente a 36,000 km arriba del ecuador.

La posición en la ranura depende de la banda de frecuencia de comunicación utilizada. Los satélites trabajando, en o casi en la misma frecuencia, deben estar lo suficientemente separados en el espacio para evitar interferir uno con otro.

Hay un límite realista del número de estructuras satelitales que pueden estar estacionadas, en área específica en el espacio. La separación espacial requerida depende de las siguientes variables:

- 1 Ancho del haz y radiación del lóbulo lateral de les estación terrena y antenas del satélite.
2. Frecuencia de la portadora de RF
3. Técnicas de codificación o de modulación usada
4. Límites aceptables de interferencia
5. Potencia de la portadora de transmisión.



Fig I.7 Separación espacial entre satélites en órbita geosíncrona

Generalmente, se requiere 3 a 6° de separación espacial dependiendo de las variables establecidas anteriormente.

Las frecuencias de la portadora, más comunes, usadas para las comunicaciones por satélite, son las bandas 6/4 y 14/12 GHz. El primer número es la frecuencia de subida (ascendente) (estación terrena a satélite) y el segundo número es la frecuencia de bajada (descendente) (satélite a estación terrena). Diferentes frecuencias de subida y de bajada se usan para prevenir que ocurra repetición . entre más alta sea la frecuencia de la portadora, más pequeño es el diámetro requerido de la antena para una ganancia específica.

La mayoría de los satélites domésticos utilizan la banda 6/4 GHz. Desafortunadamente, esta banda también se usa extensamente para los sistemas de microondas terrestres. Se debe tener cuidado cuando se diseña una red satelital para evitar interferencia de, o interferencia con enlaces de microondas establecidas. Se debe tener cuidado cuando se diseña una red satelital para evitar interferencia de, o interferencia con enlaces de microondas establecidos.

1.2.5 Huella satelital

El área de la Tierra cubierta por un satélite depende de la ubicación de l satélite en su órbita geosíncrona, su frecuencia de portadora y la ganancia de sus antenas. Los ingenieros satelitales seleccionan la frecuencia de la portadora y la antena para un satélite, en particular, para concentrar la potencia transmitida limitada en un área específica de la superficie de la Tierra. La representación geográfica del patrón de radiación de la antena de un satélite se llama huella satelital. Las líneas de contorno representan los límites de la densidad de potencia de igual recepción.

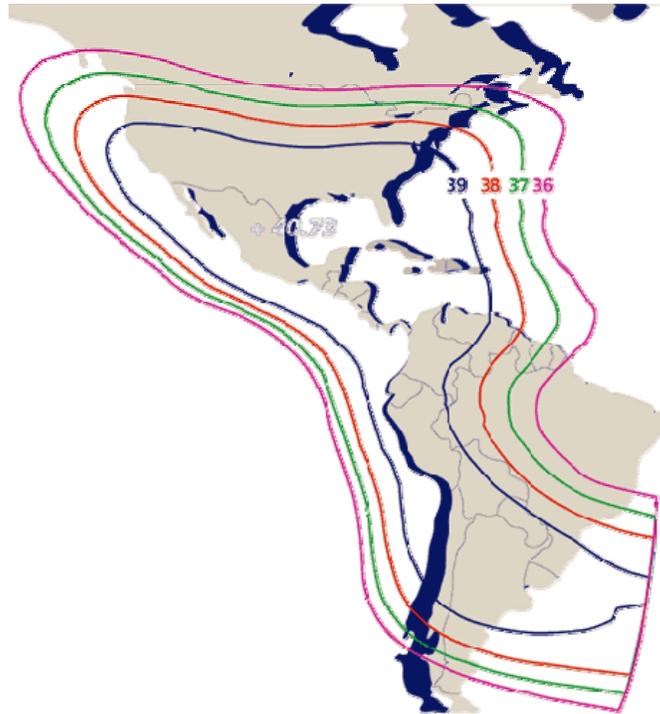


Fig I.8 Huella satelital

1.2.6 Reutilización de frecuencias

Cuando se llena una banda de frecuencia asignada, se puede lograr la capacidad adicional para reutilizar el espectro de la frecuencia. Incrementando el tamaño de una antena, el ancho de haz de la antena también se reduce. Por lo tanto, diferentes rayos de la misma frecuencia pueden ser dirigidos a diferentes áreas geográficas de la Tierra. Esto se llama reutilizar la frecuencia. Otro método para reutilizar la frecuencia es usar la polarización dual. Diferentes señales de información se pueden transmitir a diferentes receptores de estaciones terrestres usando la misma banda de frecuencias, simplemente orientando sus polarizaciones electromagnéticas de una manera ortogonal, es decir, 90° fuera de fase. Reutilizar es, simplemente, otra manera de incrementar la capacidad de un ancho de banda limitado.

1.2.7 Modelos del enlace del sistema satelital

Esencialmente, un sistema satelital consiste de tres secciones básicas: una subida, un transponder satelital y una bajada.

1.2.7.1 Modelo de subida

El principal componente dentro de la sección de subida satelital, es el transmisor de estación terrena. Un típico transmisor de la estación terrena consiste de un modulador de IF, un convertidor de microondas de IF a RF, un amplificador de alta potencia (HPA) y algún medio para limitar la banda del último espectro de salida (por ejemplo, un filtro pasa-bandas de salida). El modulador de IF se convierte la IF convierte las señales de banda base de entrada a una frecuencia intermedia modulada en FM, en PSK o en QAM. El convertidor (mezclador y filtro pasa-bandas) convierte la IF a una frecuencia de portadora de RF apropiada. El HPA proporciona una sensibilidad de entrada adecuada y potencia de salida para propagar la señal al transponder del satélite. Los HPA comúnmente usados son klystrons y tubos de onda progresiva.

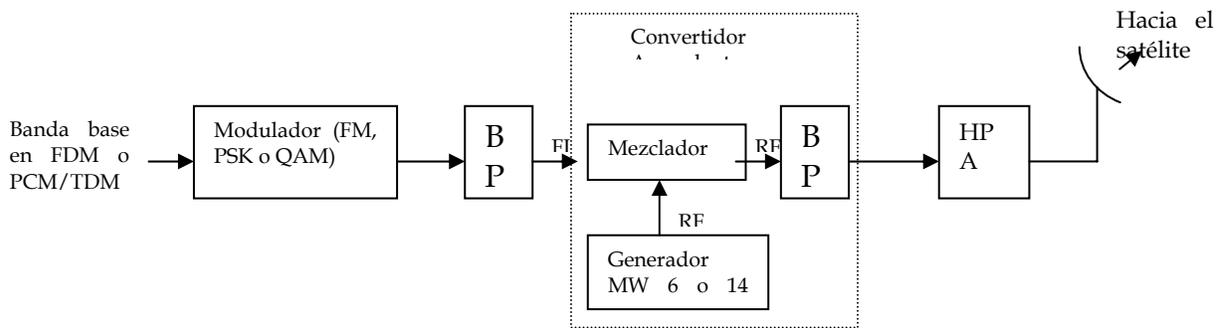


Fig I.9 Modelo de subida satelital

1.2.7.2 Transponder

Un típico transponder satelital consta de un dispositivo para limitar la banda de entrada (BPF), un amplificador de bajo ruido de entrada (LNA), un trasladador de frecuencias, un amplificador de potencia de bajo nivel y un filtro pasa-bandas de salida. Este transponder es un repetidor de RF a RF. Otras configuraciones de transponder son los repetidores de IF, y de banda base, semejantes a los que se usan en los repetidores de microondas.

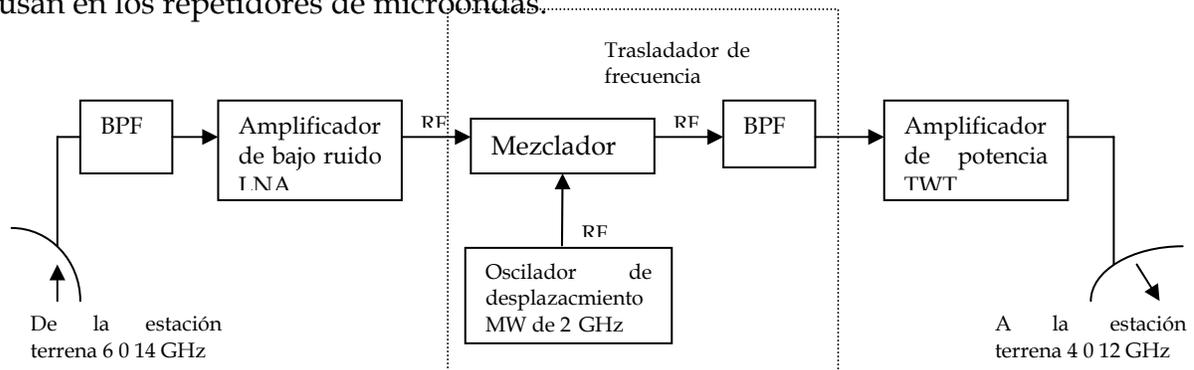


Fig I.10 Modelo de transponder

1.2.7.3 Modelo de bajada

Un receptor de estación terrena incluye un BPF de entrada, un LNA y un convertidor de RF a IF. Nuevamente, el BPF limita la potencia del ruido de entrada al LNA. El LNA es un dispositivo altamente sensible, con poco ruido, tal como un amplificador de diodo túnel o un amplificador paramétrico. El convertidor de RF a IF es una combinación de filtro mezclador /pasa-bandas que convierte la señal de RF recibida a una frecuencia de IF.

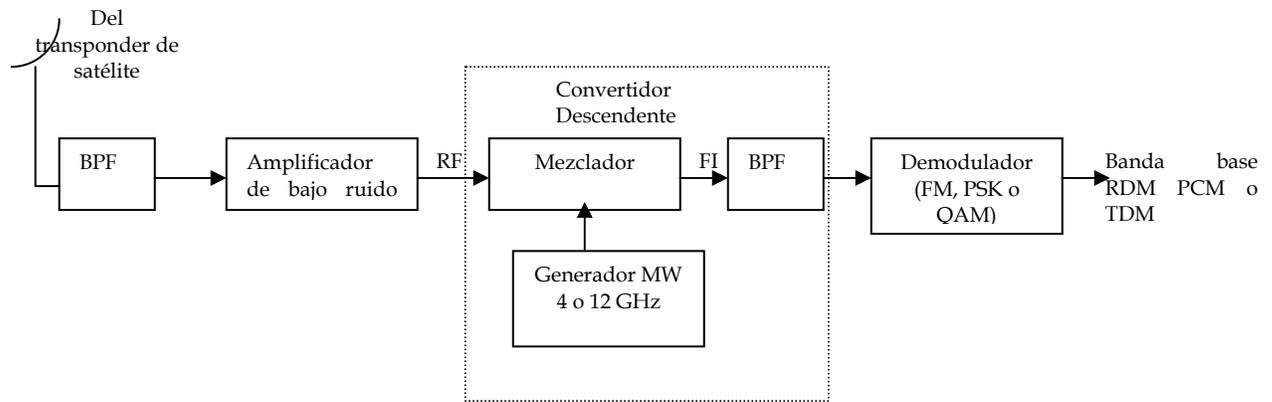


Fig I.11 Modelo de bajada satelital

1.3 Sistemas de Satélites

Un satélite es un sistema muy complejo y delicado, integrado por varios subsistemas; cada uno de ellos es igualmente importante, pues su probable falla podría causar la inutilidad parcial o total del conjunto. El satélite necesita energía eléctrica, disipar calor, corregir sus movimientos y mantenerse en equilibrio, ser capaz de regular su temperatura, ser resistente al medio ambiente en el que vive, y desde luego poder comunicarse con la Tierra; sus subsistemas más importantes se indican en la Tabla I.2.

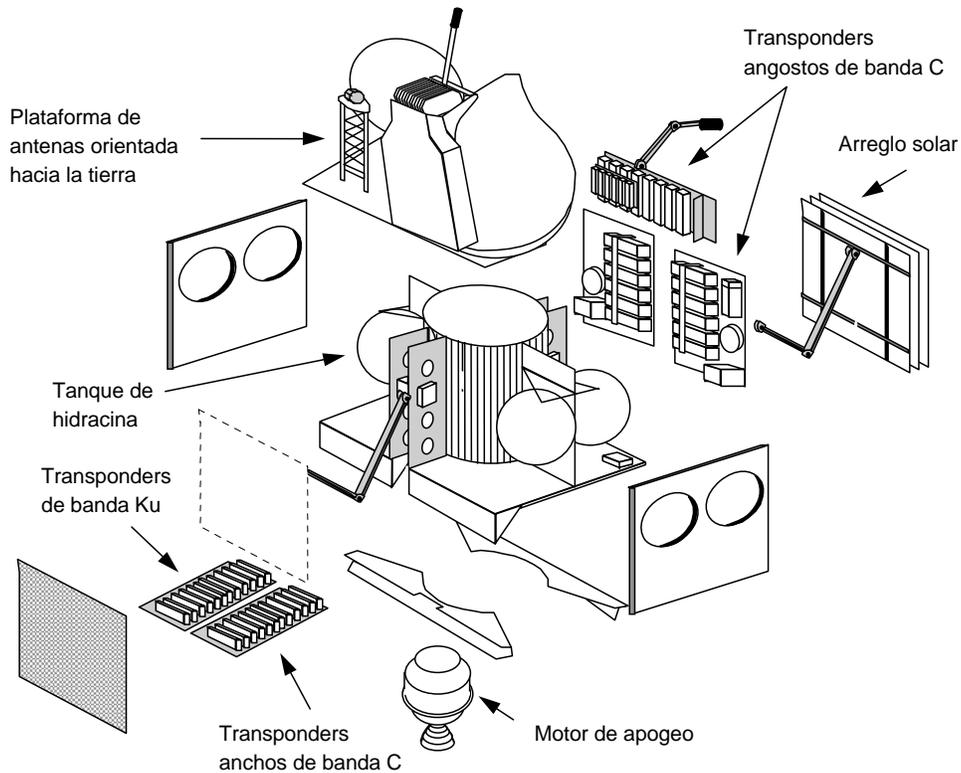


Fig. I.12 Estructura de un Satélite Spacenet

No.	Subsistema	Función
1	Antenas	Recibir y transmitir señales de radiofrecuencia
2	Comunicaciones	Amplificar las señales y cambiar su frecuencia
3	Energía Eléctrica	Suministrar electricidad con los niveles adecuados de voltaje y corriente
4	Control Térmico	Regular la temperatura del conjunto
5	Posición y Orientación	Determinar la posición y orientación
6	Propulsión	Proporcionar incrementos de velocidad y pares para corregir la posición y orientación
7	Rastreo, Telemetría y Comando	Permite conocer la operación y posición del satélite, así como enviarle órdenes para efectuar ajustes
8	Propulsión	Alojar todos los equipos y darle rigidez al conjunto

Tabla I.2 Subsistema de un satélite

1.3.1 Transponders

Los transponders son los elementos principales en la carga útil de un satélite de comunicaciones. El tipo de misión y de servicio son los factores generales determinante del diseño y características del mismo. De manera más específica los siguientes elementos son los que determinan el diseño:

Servicio	Telefonía, TV, terminales móviles, terminales personales Frecuencia de Operación Ancho de Banda
Misión	Tiempo de vida Enlaces Intersatelitales Tipo de órbita (zona de radiación) Potencia de RF (energía disponible en el BUS) Ciclo de Temperatura

Tabla I.3 Elementos a considerar para el diseño de un satélite

De manera genérica las funciones de un transponder se pueden agrupar como sigue:

- ✓ Amplificación de bajo ruido para contrarrestar los efectos de las pérdidas por espacio libre
- ✓ Ganancia variable para compensar los diferentes niveles debidos a los diversos tipo de terminales
- ✓ Minimizar la degradación en la relación señal a ruido
- ✓ Cambio de frecuencia para aislar las señales de salida de las de entrada
- ✓ Mantener la linealidad entre la salida y la entrada para minimizar la distorsión en fase y en amplitud
- ✓ Procesar y redireccionar la señal, los canales o los datos: por medio de frecuencia, por medio de polarización, por medio de haces o por tiempo

De acuerdo a las características anteriores se suele clasificar los transponders en cuatro grupos.

Los transponders transparentes fueron los primeros en utilizarse y son los más sencillos. Los hay lineales con una sola conversión de frecuencia, lineales de doble conversión con canalización a nivel de frecuencia intermedia, y los cruzados en los que las entradas y salidas de diferentes servicios (huellas, frecuencias) pueden conmutarse.

Los elementos básicos de este tipo de transponders se muestran en la figura I.13. La sección de recepción normalmente incluye filtros de entrada para separar las señales que vienen de las antenas, amplificadores de bajo ruido, convertidores de frecuencia, mezcladores y osciladores locales para preparar la señal para la canalización.

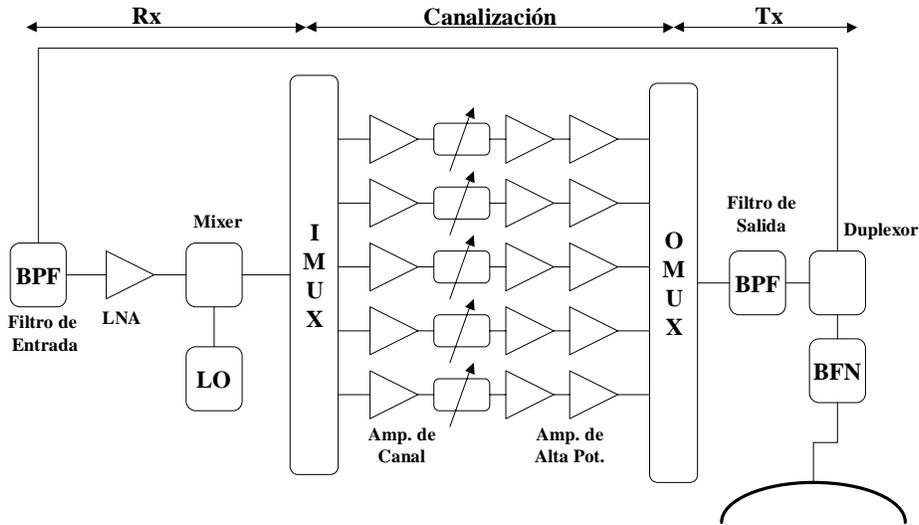


Fig. I.13 Configuración Básica de un Transponder

La canalización tiene como propósito disminuir la intermodulación y aumentar la confiabilidad ya que cada amplificador se puede sintonizar en una zona de operación lineal ya que operan en un ancho de banda menor. Esta etapa contiene además demultiplexores y conmutadores de canal.

La etapa de transmisión está constituida por la convertidores de frecuencia de bajada y los amplificadores de alta potencia con sus respectivos filtros.

Las figuras siguientes muestran mapas de frecuencias de transponders de diferentes satélites, incluyendo los de distintos anchos en línea ascendente y descendente.

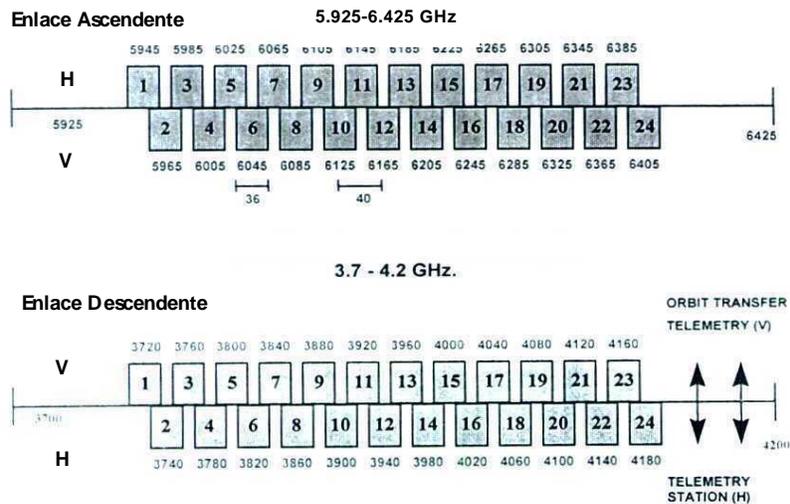


Fig. I.14 Mapa de frecuencias de transponders estrechos en un satélite (Banda C)

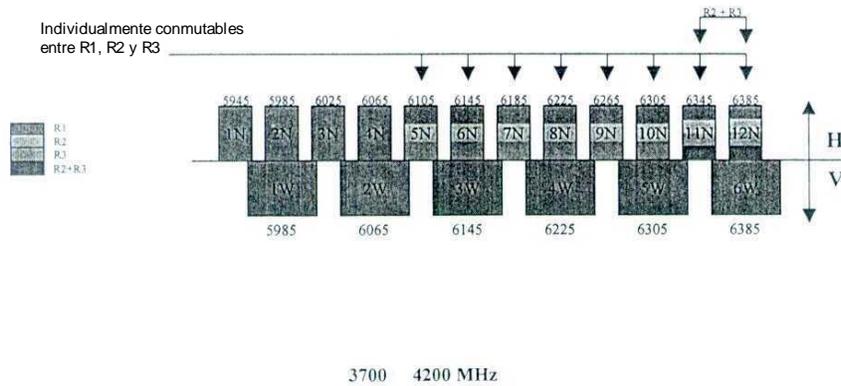


Fig. I.15 Mapa de frecuencias de transponders en un satélite (Banda C)

Los transponders con conmutación en tiempo real son el siguiente paso. Estos son capaces de conmutar la salida en frecuencia, en polarización o en huellas.

Actualmente la investigación con transponders incluye varias innovaciones encaminadas a crear sistemas con procesamiento de señal a bordo. Se pretende que estos transponders sean capaces de demodular las señales a nivel de frecuencia intermedia para poder procesar los datos para fines de conmutación a nivel de paquetes.

1.3.2 Bandas de Frecuencia para Satélites

El espectro electromagnético de frecuencias es mostrado en la figura I.16 junto con las bandas de frecuencia designadas. Las frecuencias utilizadas para las comunicaciones vía satélite son seleccionadas a partir de las bandas que son más favorables en términos de eficiencias de potencia, distorsiones de propagación mínimas, y efectos reducidos de distorsión e interferencias. Estas condiciones de operación tienden a forzar la operación en regiones de frecuencias particulares

que proporcionan la mejor relación entre estos factores. Desafortunadamente los sistemas terrestres (tierra a tierra) tienden a favorecer estas mismas frecuencias. Por lo tanto, debe existir cierto interés en lo que concierne a los efectos por interferencia entre los sistemas terrestres y satelitales. Además, el espacio en sí mismo es un dominio internacional, así como lo son el espacio aéreo internacional y los océanos, y el uso de satélites desde el espacio debe ser compartido y regulado sobre una base global. Por esta razón, las frecuencias a ser utilizadas por los satélites son establecidas a través de un organismo internacional conocido como la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU - *International Telecommunications Union*), con regulaciones difundidas y controladas por un subgrupo conocido como la Conferencia de Radio Administrativa Mundial (WARC - *World Administrative Radio Conference*). Un comité técnico consultivo internacional (CCIR) proporciona recomendaciones específicas sobre las frecuencias satelitales bajo consideración de la WARC. El objetivo básico de estas agencias es ubicar bandas de frecuencia particulares para diferentes tipos de servicios satelitales así como proporcionar regulaciones internacionales en las áreas de máximos niveles de radiación desde el espacio, coordinación con los sistemas terrestres, y el uso de localidades satelitales específicas en una órbita dada. Junto con estos repartos y regulaciones, un país individual que opera su propio sistema de satélite doméstico, o quizá un consorcio de países operando un sistema de satélite internacional común como INTELSAT, puede realizar sus propias selecciones de frecuencias basadas en las intenciones de uso así como de los servicios satelitales deseados.

Las bandas de frecuencias ubicadas para propósitos específicos de comunicaciones se resumen en la tabla I.4, indicando el uso primario de estas bandas en los Estados Unidos. El uso de estas frecuencias ha sido dividido en aplicaciones militares, comerciales y científicas, con ubicaciones específicas para enlaces ascendentes y descendentes. Los servicios satelitales han sido designados como puntos fijos (entre estaciones terrenas localizadas en puntos fijos sobre la Tierra), difusión (transmisión simultánea a varias estaciones esparcidas sobre un área de gran cobertura), y móvil (vehículos terrestres, barcos y aviones). El enlace Intersatelital se refiere a enlaces entre satélites en órbita.

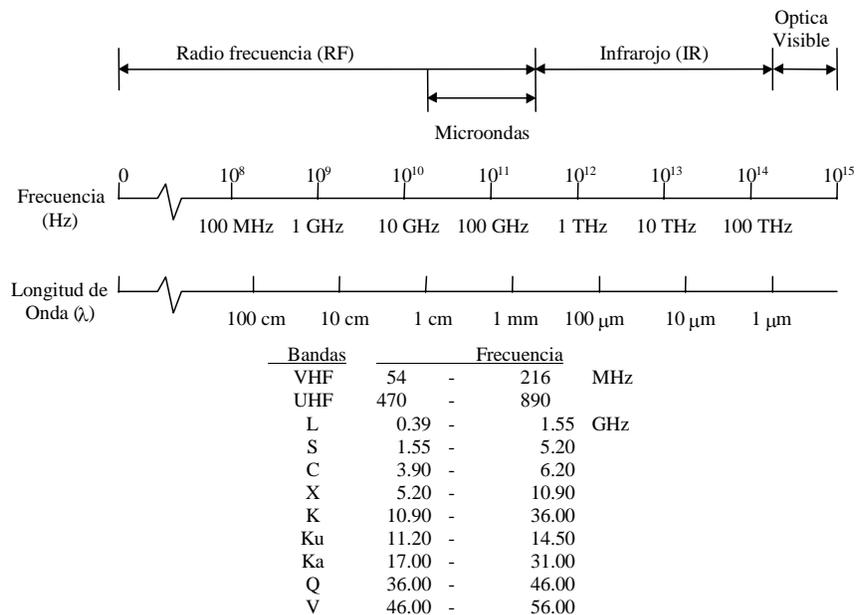


Fig. I. 16 Espectro Electromagnético de Frecuencias y Bandas Designadas

La mayoría de la tecnología satelital en los comienzos fue desarrollada para las bandas de UHF, C y X, las cuales requieren de una conversión mínima entre los sistemas existentes de microondas. Sin embargo, se han proyectado problemas muy críticos en estas áreas. El problema principal es que el ancho de banda disponible en estas bandas es ahora inadecuado para alcanzar a las necesidades de tráfico presentes y futuras. Aún más, la interferencia entre varios sistemas satelitales independientes, y entre los sistemas satelitales y los de microondas terrestres existentes, se tornarán más críticos conforme se vayan poniendo en órbita satélites adicionales. La coordinación entre sistemas independientes será difícil de mantener. También se puede presentar una congestión orbital seria en las órbitas más favorables para los sistemas que operan en banda C y banda X. Por estas razones existe un interés continuo en la extensión de la operación en bandas más altas como las bandas K y V. En la mayoría de los casos esto significa un desarrollo adicional en la tecnología y de la electrónica, una investigación extensa en la propagación atmosférica a estas frecuencias, pero la operación extendida tiene las ventajas de contar con más ancho de banda espectral, interferencia terrestre despreciable, y espaciamientos orbitales menores.

Una ventaja inmediata y obvia al utilizar una portadora a una frecuencia más grande es la habilidad de modular más información (anchos de banda mayores) sobre ella. Si suponemos que el ancho de banda que puede ser modulado sobre una portadora es un porcentaje fijo de esa frecuencia portadora, entonces una portadora operando a 30 GHz puede portar tranquilamente cinco veces la información de una portadora en banda C. Por lo tanto mientras que la banda C en los sistemas satelitales puede proporcionar anchos de banda de 500 MHz (alrededor del 10% de la frecuencia de la portadora), una frecuencia portadora en

banda K podrá proyectar cerca de 2.5 GHz de ancho de banda modulado. Un incremento en esta proporción tendría un impacto significativo en la eficiencia de costo y capacidades de un enlace satelital.

Banda de Frecuencias	Frecuencia (GHz)		Localización en los Estados Unidos
	Enlace Ascendente	Enlace Descendente	
UHF	0.821 - 0.825 0.845 - 0.851	0.866 - 0.870 0.890 - 0.896	Servicios de Satélite Móvil
Banda L	1.631 - 1.634	1.530 - 1.533 1.575 1.227	Servicios Móviles GPS GPS
Banda S	2.110 - 2.120	2.290 - 2.300	Investigación espacial
Banda C	5.9 - 6.4	3.7 - 4.2	Fijo, punto a punto no militar
Banda X	7.145 - 7.190 7.9 - 8.4	8.40 - 8.45 7.25 - 7.75	Investigación espacial Solamente Militar
Banda Ku	14.0 - 14.5	11.2 - 12.2	Difusión, fijo no militar
Banda Ka	27 - 30 30 - 31 34.2 - 34.7	17 - 20 20 - 21 31.8 - 32.8	Sin asignar Sin asignar Investigación espacial
Banda Q	50 - 51	40 - 41 41 - 43	Punto fijo, no militar Difusión, no militar
Banda V		54 -58 59 - 64	Intersatélite Intersatélite

Tabla I. 4 Bandas de Frecuencias para Satélite

Actualmente, en el sistema INTELSAT se utilizan dos bandas de frecuencias para servicios VSAT: banda C y banda Ku. Para los sistemas de banda C, las antenas transmiten a 6 GHz y reciben en 4GHz; y para banda Ku la transmisión es a 14 GHz y la recepción a 11-10 GHz.

Ninguna de las dos bandas es mejor que la otra de manera absoluta, por lo que los operadores de VSAT tienen que evaluar su caso en particular de acuerdo a sus necesidades. La tabla I.5 muestra las ventajas y desventajas de las banda Ku y C.

Banda Ku		Banda C	
Beneficios	Desventajas	Beneficios	Desventajas
permite hacer uso de antenas más pequeñas	señales susceptibles a atenuación por lluvia (6dB a 10dB)	señales poco susceptibles a atenuación por lluvia (0.4dB a 1dB)	necesita antenas un poco más grandes que las de Ku
mayor potencia disponible del transponder	no está disponible en todo el mundo	disponible a nivel mundial	mayor potencia disponible del transponder
	haces de cobertura delgados	haces más amplios y cobertura global	
menor interferencia terrestre			mayor interferencia terrestre

Tabla I.5 Banda Ku vs Banda C

Con un diseño adecuado se pueden minimizar el efecto de atenuación por lluvia en banda Ku, por lo que se puede alcanza altas disponibilidades en ambas bandas. Sin embargo, la mayoría de los operadores prefiere usar la banda Ku ya que permite una inversión menor al usar antenas más pequeñas.

1.3.3 Características de un satélite comercial moderno.

Un satélite de reciente fabricación cuenta típicamente con los siguientes servicios:

- Cobertura continental en sus canales.
- Potencia diez veces superior a los satélites de hace 10 años.
- Gran capacidad de PIRE radiado.
- Menor diámetro de antenas requerido sobre todo en servicios DTH
- Gran capacidad de transponders en ambas bandas.

Las características técnicas, que hacen posible tal operación se muestran en la siguiente tabla:

Características	Banda C	Banda Ku
PIRE (dBW)	38.0	Ku:49.0 Ku:46.0
Capacidad Instalada (Transponders)	24	24
Cobertura de las principales ciudades del Continente	Todas	Todas
G/T (dB/°K)	-3.0	Ku 1: 1.5 Ku 2: 1.5
Densidad de flujo a saturación (dBW/m ²)	-92.0	-95.0
Redundancia	30 TWTAs / 24 canales	32 TWTAs / 24 canales
Rango de atenuación de entrada	0 a 15 dB en pasos de 1 dB	0 a 20 dB en pasos de 1 dB
Grados de Tolerancia en el mantenimiento de la nave espacial	+/- 0.05° N-S +/- 0.05° E-W	
Combustible remanente al 1° de enero de 1999	BIPROPELANTE 106.761 kg	XENON 229.443 kg
Vida estimada de operación	15 años	

Tabla I.6 Características de operación de un satélite moderno.

1.4 Técnicas de modulación y modos de acceso múltiple

Las técnicas de modulación y el modo de acceso empleado por los satélites de comunicaciones dependen de las necesidades particulares de aplicación. Al conformarse un sistema de comunicación, se deberá prestar especial interés tanto en el espacio espectral disponible (canales de banda angosta o banda ancha), el tipo de señal a transmitir y/o recibir, a la demanda, así como a las necesidades mismas de costo-beneficio.

Aquí se describen brevemente las principales técnicas de modulación analógica y digital; se presentan los dos modos principales de acceso, FDMA y TDMA, así como sus protocolos.

1.4.1 Técnicas de modulación

La técnica de modulación que domina en los sistemas de comunicación vía satélite es la modulación en frecuencia FM. El sistema FM es ampliamente utilizado en radiodifusión y en microondas terrestres, de tal forma que la teoría era muy bien entendida cuando los satélites de comunicación tenían el gran auge y desarrollo debido a que se disponía de la tecnología cuando empezaron a operar.

La alternativa de utilizar modulación digital se ha considerado seriamente; sin embargo, se sigue manteniendo el uso de FM como en el caso de microondas terrestres. La utilización de modulación digital en satélites se hará con la misma rapidez según se emplee modulación digital en microondas terrestres, en virtud de que finalmente éstas son la que alimenta las estaciones terrenas. Sin embargo, si la información se encuentra en forma digital, se puede utilizar modulación digital directamente.

1.4.1.1 Modulación analógica

El sistema FM es similar al utilizado en microondas terrestres, excepto que se requiere ampliar más la desviación de frecuencia para mejorar la relación señal a ruido S/N. Una sola portadora puede ser modulada hasta por 900 canales de banda base y ocupar un ancho de banda de 36 MHz. El uso de modulación en frecuencia es un sistema FM-FDMA es más eficiente en términos de ancho de banda y se mantiene comparable al esquema TDM-PCM-QPSK. La mayor

desventaja de un sistema FM es la acumulación de ruido a lo largo de los diferentes saltos del enlace, teniendo como resultado la contribución de ruido a un valor mínimo en cada etapa. En las bandas de 4 y 6 GHz se debe agregar ruido por interferencia causado por enlaces terrestres y pos satélites adyacentes.

Dentro de la modulación analógica existen varios sistemas que pueden utilizarse para comunicaciones por satélite: modulación lineal y modulación angular. La siguiente tabla nos presenta un panorama general de las principales características de cada uno de éstos.

TIPO DE MODULACIÓN ANALÓGICA	SISTEMA	ANCHO DE BANDA (B)	EFICIENCIA	COMPLEJIDAD	PALIACIÓN TÍPICA
Lineal	AM	2 fx *	50%	Mínima	Radiodifusión Comercial
Lineal	DBL	2 fx	100%	Media	Sist. Baja Frecuencia
Lineal	BLU	fx	100%	Máxima	Transmisión de voz
Lineal	BLR	fx B 2fx	100%	Máxima	Sist. Gran ancho de banda
Lineal	BLR + P	2 fx	50%	Media	Video TV
Angular	FM	2Δfx+2fx	-	Media	Radiodifusion commercial
Angular	PM	2Δfx+2fx	-	Media	Transmission detos y generación FM

*fx = Máxima frecuencia del mensaje

Δfx= Desviación pico de la portadora

Tabla I.7 Características de modulación lineal y angular

1.4.1.2 Modulación digital

La técnica de modulación digital más recomendada y utilizada actualmente es la modulación por impulsos codificados PCM. Sin embargo, existen otras técnicas suficientemente efectivas que por sus características y desempeño justifican su uso y aplicación.

TIPO DE SEÑAL	ANCHO DE BANDA	TAZA DE MUESTREO	NO. INTERVALO DE CUANTIFICACION	LONGITUD DE PALABRA EN CODIGO
Voz	300 a 3400 Hz	8 KHz	128/256	7/8
Programa de	15 KHz	32 KHz	2048	11

música				
T.V. Color	5.5 MHz	13 MHz	512	9

Tabla I.8 Características de modulación digital

Entre las otras técnicas de modulación digital que acompañan a PCM se encuentra las siguientes a saber:

- ASK Amplitude Shift Keying, llaveo por corrimiento de amplitud
- FSK Frequency Shift Keying, llaveo por corrimiento de frecuencia
- PSK Phase Shift Keying, llaveo por corrimiento de fase
- 4 PSK, llaveo por corrimiento - 4 fases
- 8 PSK, llaveo por corrimiento - 8 fases
- 16 PSK, llaveo por corrimiento - 16 fases
- QAM, 4 niveles - 16 símbolos
- DELTA
- OOK, On-Off Keying, ASK general
- APK, modulación por desviación/amplitud-fase

Las técnicas de modulación digital FDM-PCM-PSK y TDM-PCM-PSK son configuraciones utilizadas muy frecuentemente; específicamente 4-PSK con detección coherente es el mejor, ya que ocupa la mitad del ancho de banda requerido por PSK. Como ventaja adicional de esta técnica tenemos una mejor relación señal a ruido S/N (hasta 60 dB).

La siguiente tabla nos muestra las características de cada tipo de modulación y su eficiencia espectral.

TIPO DE MODULACIÓN	NO. NIVELES LÓGICOS	NO. DE BITS POR SÍMBOLO	ANCHO DE BANA REQUERIDO
ASK	2	1	$BT = 2B$
FSK	2	1	$BT = 2B + 2\Delta f$
PSK	2	1	$BT_{PSK} = 2B$
4-PSK	4	2	$BT = \frac{1}{2} BT_{PSK}$
8-PSK	8	3	$BT = \frac{1}{3} BT_{PSK}$
16-PSK	16	4	$BT = \frac{1}{4} BT_{PSK}$
QAM	16	4	$BT = \frac{1}{4} BT_{PSK}$

Tabla I.9 Características de modulación digital

Por otra parte, la siguiente tabla nos recomienda el tipo de modulación para la velocidad de información a transmitir:

TIPO DE MODULACIÓN	VELOCIDAD (BITS/S)
FSK	1200
4-PSK	2400
8-PSK	4800
16-PSK	9600

Tabla I.10 Características de modulación digital

La modulación por pulsos codificados PCM, es un método de conversión de canales telefónicos analógicos a forma digital, mediante el cual se muestrea una señal analógica, cuantificándose la amplitud de cada muestra independientemente de otras muestras y convirtiéndola, por codificación, en una señal digital.

El proceso se realiza también de manera inversa mediante la decodificación y regeneración de las señales digitales.

Un canal telefónico es una vía de comunicación que maneja un ancho de banda de 300 Hz a 3400 Hz. Los canales telefónicos

La conversión de las señales analógicas a forma digital, se realiza según 3 etapas básicas: muestreo, cuantificación y codificación

El proceso de muestreo, consiste en convertir la señal analógica en señales PAM (Pulse Amplitud Modulation). Para esto se toma una muestra periódica de los valores de amplitud de la señal analógica.

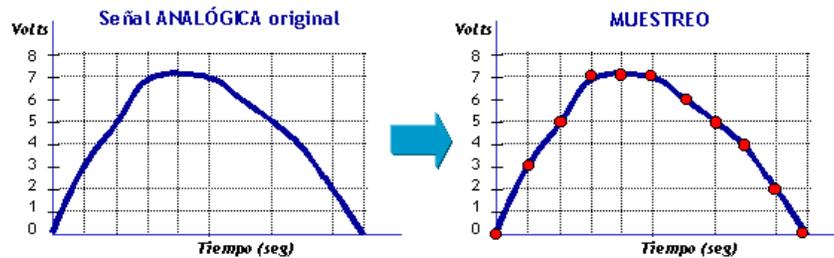


Fig. I.17 Muestro de una señal analógica

El periodo o intervalo de muestreo está regido por el teorema de Nyquist, el cual establece que para realizar un muestreo y no perder características de la señal original, la frecuencia de muestro (f_s) debe ser mayor o igual a 1 doble del valor de la frecuencia máxima (f_{max}) de la señal a muestrear.

Dado que el ancho de banda de un canal telefónico es de 300 a 3400 Hz, es recomendable tener un margen y considerar un ancho de banda aproximado de 4000 Hz, así, aplicando la formula anterior tenemos que la frecuencia que la frecuencia de muestreo será:

$$f_s = 2(f_{\max}) = 2(4000) = 8000 \text{ Hz}$$

La frecuencia de muestreo de una señal en un segundo es conocida como razón de muestreo medida en Hertz (Hz).

$$1 \text{ Hz} = 1/\text{seg}$$

La razón de muestreo determina el rango de frecuencias [ANCHO DE BANDA] de un sistema. A mayores razones de muestreo, habrá más calidad o precisión.

Cuantificación, es el proceso de convertir valores continuos (voltajes) en series de valores discretos.

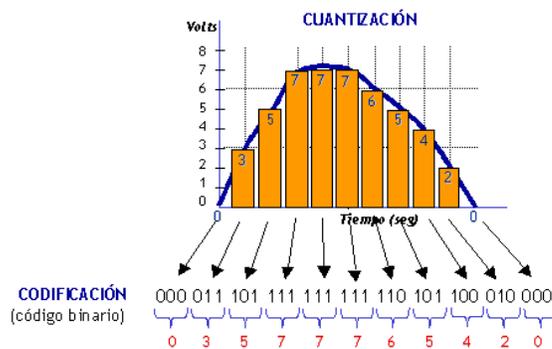


Fig. I.18 Cuantificación y codificación de una señal analógica

Mientras que el muestreo representa el tiempo de captura de una señal, la cuantización es el componente en amplitud de el muestreo. En otras palabras, mientras que el muestreo mide el tiempo (por instancia 44,100 muestras por segundo), la cuantización es la técnica donde un evento analógico es medido dado un valor numérico.

Para hacer esto, la amplitud de la señal de es representada en una serie de pasos discretos. Cada paso está dado entonces por un número en código binario que digitalmente codifica el nivel de la señal. La longitud de la palabra determina la calidad de la representación. Una vez más, una palabra más larga, mejor la calidad de un sistema de audio (comparando una palabra de 8 bits con una de 16 bits o 32 bits) (ver fig. I.19).

ERROR DE CUANTIZACIÓN

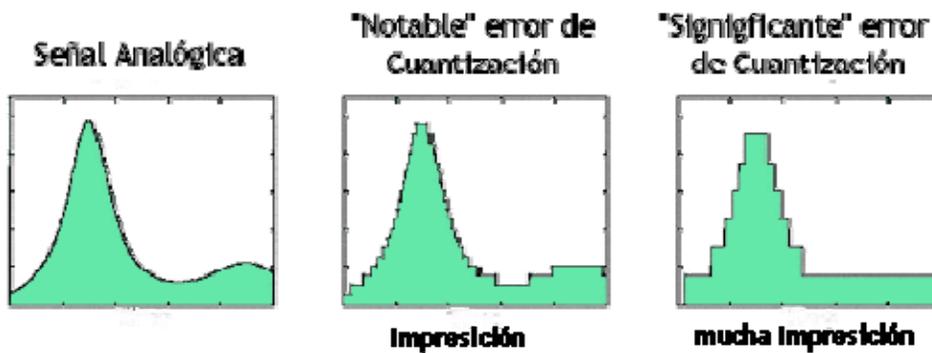


Fig. I.19 Error de cuantización

La codificación es la representación numérica de la cuantización utilizando códigos ya establecidos y estándares. El código más utilizado es el código binario, pero también existen otros tipos de códigos que son empleados.

A continuación se presenta una tabla donde se representan los números del 0 al 7 con su respectivo código binario. Como se ve, con 3 bits, podemos representar ocho estados o niveles de cuantización.

	Número	Código binario
En general	0	000
$2^{(n)}$ = Niveles o estados de cuantización	1	001
donde n es el número de bits.	2	010
	3	011
	4	100
	5	101
	6	110
	7	111

Tabla I.11 Codificación

En lo que a transmisión digital se refiere, la siguiente tabla presenta los estándares de transmisión y capacidad de canales de voz en sistema PCM, según la jerarquía.

Nivel de Jerarquía	U.S.A (Mbps)	Japón (Mbps)	Europa (Mbps)
1	1.544	1.544	2.048
2	6.312	6.312	8.448
3	44.736	32.064	34.368
4	274.176	97.728	139.264
5	-	396.200	560 – 840

Tabla I.12 Comparación jerarquía PCM

Los sistemas de portadora digital que involucran modulación binaria en amplitud, fase o frecuencia, su ancho de banda está ligado a la "Relación de Nyquist". En la realidad se manejan esquemas de señalización multifase, multiamplitud y multifase/multiamplitud como sistemas multisimbolos.

Estos sistemas son una combinación de pulsos binarios para formar un pulso mas largo que requiera un ancho de banda menor. Ejemplo clásicos de su aplicación tenemos PSK cuaternaria (QPSK) y PSK múltiple (MPSK).

1.4.2 Protocolos de acceso

Al diseñar una red VSAT se deben considerar tres diferentes niveles de protocolos: los protocolos de acceso al satélite, los protocolos de acceso a la red satelital, y los protocolos de datos de los usuarios.

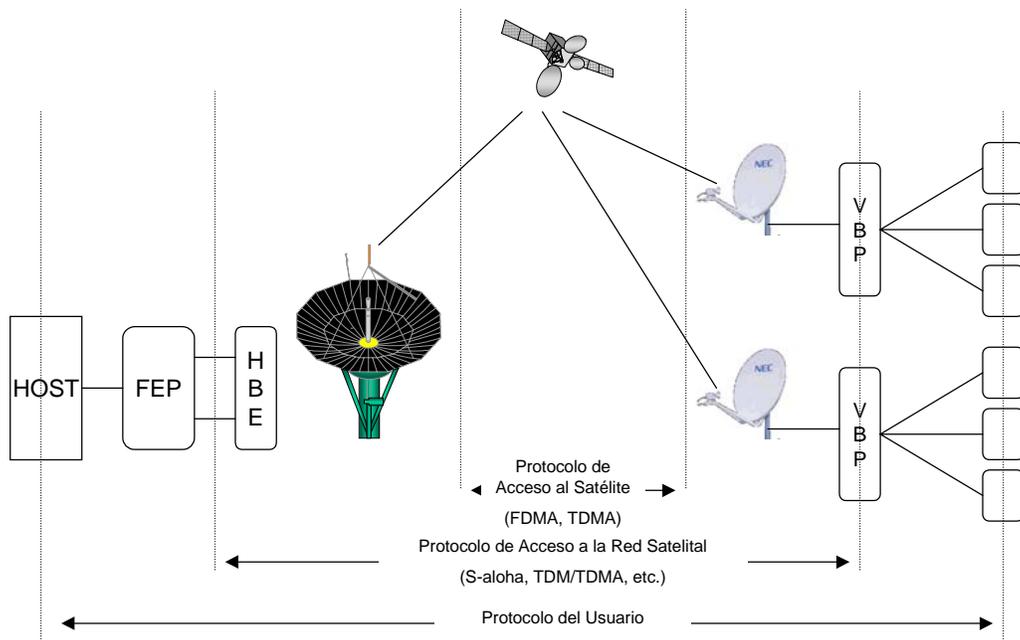


Fig. I.20 Diferentes Niveles de Protocolos en un Red VSAT

El desempeño de una red esta directamente relacionado con los protocolos usados, por lo que un buen diseño utiliza protocolos que permiten alcanzar el máximo nivel de desempeño, de acuerdo a las aplicaciones específicas, al tiempo que minimiza el ancho de banda requerido en el satélite.

Un protocolo de acceso al satélite define la manera en que diferentes VSATs comparten el mismo ancho de banda. Sólo hay tres técnicas para el ancho de

banda entre múltiples usuarios: Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA), Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA), y Acceso Múltiple por División de Código (CDMA).

1.4.2.1 Protocolos de Acceso al Satélite

La técnica más sencilla es la de FDMA, permite compartir la capacidad satelital por medio del uso de diferentes frecuencias asignadas una a cada portadora. De acuerdo a la figura I.14, las VSATs comparten la misma capacidad satelital al transmitir sus portadoras en diferentes frecuencias. Las portadoras son independientes entre sí, por lo que no transmiten con la misma potencia o con el mismo ancho de banda.

La segunda técnica de acceso permite que los usuarios tengan acceso a la capacidad satelital arrendada en una modalidad de tiempo compartido. Es decir, cada VSAT transmite su información en ráfagas en intervalos de tiempo predeterminados. Una vez que el intervalo asignado a la ráfaga se termina, la VSAT deja de transmitir para que alguna otra VSAT pueda transmitir. Como se observa en la figura I.21, el ancho de banda y la potencia están asignados a una sola VSAT en un intervalo de tiempo determinado.

En el sistema CDMA, todas las VSATs transmiten simultáneamente en la misma frecuencia, con el mismo ancho de banda, y la misma potencia. Lo que permite distinguir una señal de otra es la codificación de la señal original por medio de una secuencia pseudo-aleatoria que expande la señal sobre un ancho de banda mayor. Para reconstruir la señal original, el receptor realiza una correlación de la señal de entrada con una copia de la secuencia pseudo-aleatoria que fue usada para su codificación.

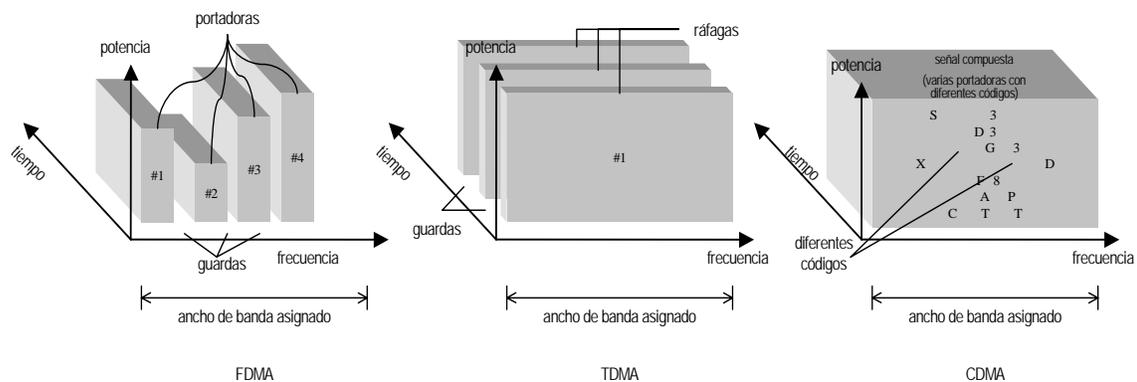


Fig. I.21 Técnicas de Acceso al Satélite

1.4.2.2 Protocolos de Acceso a la Red Satelital

Los protocolos de acceso a la red satelital normalmente combinan dos técnicas de acceso al satélite y algún tipo de control de tráfico. La mayoría de las terminales VSAT sólo transmiten una capacidad moderada de información por lo que es ineficiente la asignación permanente de la capacidad satelital. Al utilizar un protocolo de acceso a la red, la eficiencia aumenta. Estos protocolos asignan la capacidad a alguna terminal en particular de acuerdo al tráfico que presenta. Normalmente, la capacidad se solicita por la VSAT y es asignada por el controlador de la red en el Hub, ya sea por demanda, aleatoriamente o permanentemente.

En un protocolo de asignación por demanda, la VSAT solicita dinámicamente, antes de transmitir al Hub, que le asigne cierta capacidad, ya sea ranuras de tiempo o portadoras. Este proceso implica una respuesta inicial más lenta pero es muy eficiente al ser utilizado para transmisiones de grandes bloques de datos.

Cuando una VSAT utiliza un protocolo de asignación aleatoria, ésta transmite su información al momento que la recibe por alguno de sus puertos de datos. Esta modalidad ofrece un tiempo de respuesta muy corto, pero limita la capacidad de transmisión de las portadoras para evitar sobrecargarla.

En un protocolo de asignación permanente, las terminales VSAT tienen acceso permanente a una pequeña porción de la capacidad satelital. En este caso, la velocidad de la portadora es la única limitante para el tráfico que puede transmitir. Sin embargo, la capacidad es desperdiciada cuando la portadora no es usada por la VSAT.

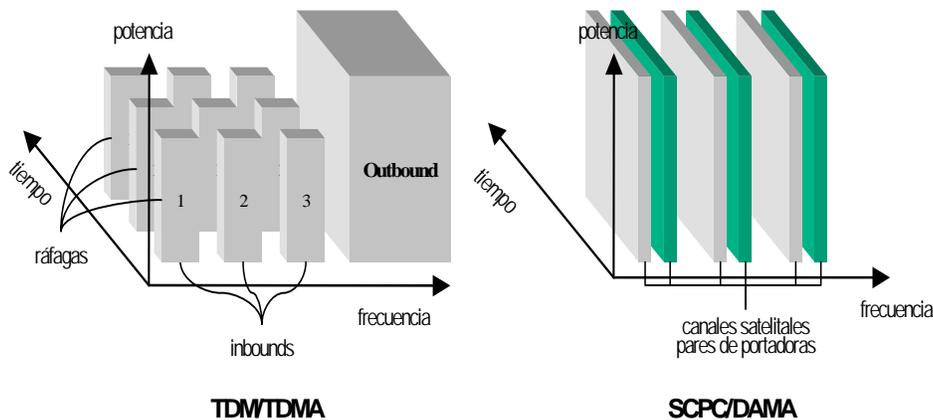


Fig. I.22 Protocolos de Acceso a la Red Satelital

Los protocolos de acceso a la red se pueden clasificar genéricamente en dos grupos que utilizan una combinación de las técnicas de asignación por demanda, aleatoria y permanente. Estos métodos son el TDM/TDMA (Multiplexaje por División de Tiempo/Acceso Múltiple por División de Tiempo) y el SCPC/DAMA (Canal Único por Portadora/Acceso). EL TDM/TDMA usa una portadora TDM continua para el tráfico de outbound dirigido del Hub hacia las VSATs. La información para las diferentes VSATs se multiplexa en la misma portadora. Múltiples portadoras de outbound pueden ser utilizadas para aumentar la capacidad de la red.

Las VSATs utilizan el método de acceso TDMA para compartir las portadoras de inbound, dirigidas al Hub.

El sistema SCPC/DAMA transmite un canal único por portadora par transportar la información. Cuando existe la necesidad de transmitir información, las portadoras se asignan por pares, uno del Hub a la VSAT y otro de la VSAT al Hub.

Ambos métodos pueden transmitir voz y datos con diferentes niveles de servicio. Ambos pueden operar en modo de asignación permanente o por demanda, pero solo el TDM/TDMA permite acceder aleatoriamente.

1.4.2.3 Redes TDM/TDMA

Los protocolos TDM/TDMA son muy eficientes y son comúnmente utilizados para aplicaciones de datos interactivos. Los datos de usuario deben de ser paquetizados antes de que puedan ser transportados con este protocolo. Cada paquete contiene una dirección que identifica a la terminal VSAT dentro de un dominio. Un receptor, ya sea una VSAT o el Hub, confirma la recepción de cualquier paquete. Si el ruido, una colisión o algún otro problema ocurre, el paquete no llegará a su destino. En este caso, el receptor no mandará un reconocimiento (ACK), y se tendrá que retransmitir el mismo paquete después de un retardo aleatorio. El mecanismo de reconocimiento asegura la adecuada entrega de cada paquete y simplifica el transporte de datos.

El enlace de outbound es una sola portadora y está constituida por paquetes multiplexados destinados a las diferentes terminales dentro de la red. El multiplexaje se lleva a cabo por el FEP (front-end processor) que se conecta al host del usuario. Cada VSAT escucha toda la información encaminada a todos los usuarios, sin embargo, sólo decodifica aquellos paquetes que contienen información de control o información de usuario destinada a sus interfaces terrestres.

Dependiendo del tamaño de la red, se necesitan una o varias portadoras de inbound. Cada portadora de inbound lleva información de las VSATs hacia el Hub. Si una VSAT necesita comunicarse con otra, está necesita transmitir la Hub y este a su vez lo retransmitirá a la VSAT destino con el consecuente doble salto satelital.

1.4.2.4 Protocolos de Acceso a la Portadoras de Inbound

En una red TDM/TDMA los protocolos e acceso sólo se implementan en el enlace de inbound, se conocen normalmente como protocolos aleatorios o de contención. En un protocolo aleatorio no existe un controlador que determine que VSAT debe transmitir. Cada VSAT transmite sus datos en paquetes en intervalos aleatorios y compite por la capacidad de la portadora de inbound con las demás estaciones. Los protocolos de contención más comunes son: ALOHA, ALOHA ranurado, ALOHA con rechazo selectivo, y asignación por demanda con reservación.

1.4.2.4.1 ALOHA

El primer método de contención fue el ALOHA y opera de la siguiente manera. Cuando se requiere enviar información simplemente se crean los paquetes correspondientes y se transmiten. La VSAT espera por un reconocimiento de parte del Hub. Si no hay contratiempo, el reconocimiento debe de recibirse dentro del tiempo de un par de saltos satelitales. De cualquier manera, si alguna otra VSAT transmite su paquete al mismo tiempo y causa una colisión, el Hub ignorará ambos paquetes y no mandará reconocimientos. Cuando la VSAT no recibe el reconocimiento, intenta retransmitir el paquete después de esperar un tiempo aleatorio. Después de un número predeterminado de intentos fallidos la VSAT informará a la terminal de datos que el canal de datos está fuera de servicio.

Una ventaja del método Aloha es la repuesta rápida siempre y cuando el canal compartido este operando a nivel de throughput menores de 18%. El costo de esa rápida respuesta y de la simplicidad de operación es precisamente ese bajo nivel de throughput. Si el tráfico ofrecido a la red se incremente más allá del 18%, el throughput real se decremente por las colisiones de paquetes, que a su vez se refleja en un tiempo de respuesta degradado.

1.4.2.4.2 ALOHA Ranurado

El método ALOHA se mejora en términos de eficiencia y reducción de la probabilidad de colisiones si la portadora de inbound se divide en ranuras de

tiempo (S-Aloha). Cada VSAT reconstruye las ranuras de tiempo al reconstruir la información de reloj que le es enviada dentro de la portadora de outbound, así cada estación se sincroniza con el reloj maestro del Hub. La sincronización no implica que las VSATs transmitan su información de manera cíclica, sino que simplemente define los intervalos permitidos para transmitir. De esta manera cada VSAT tiene que crear paquetes de tamaño fijo. La VSAT empezará a transmitir sólo al principio de una ranura de tiempo. El DTE manda su información a la VSAT. La VSAT ensambla los paquetes para luego almacenarlos en un buffer hasta que comience la próxima ranura. Con la inserción de ranuras se reducen las posibilidades de colisión y se lleva el throughput hasta aproximadamente 36%.

1.4.2.4.3 ALOHA con Rechazo Selectivo

El sistema Aloha con rechazo selectivo (SREJ- Aloha) no utiliza ranuras por lo que no requiere de sincronización, sin embargo, alcanza casi el mismo nivel de throughput que el S-Aloha. En este método se subdividen los paquetes de tal manera que cada subpaquete tiene su propio encabezado que permite manejarlo independientemente. El protocolo hace uso de hecho que la mayoría de las colisiones en sistemas asíncronos ocurren solo en una parte del total del paquete, de esta manera sólo los subpaquetes que colisionan son los que se retransmiten. El throughput que se alcanza con este método se encuentra alrededor del 30% y trabaja bien con paquetes de diferentes tamaños.

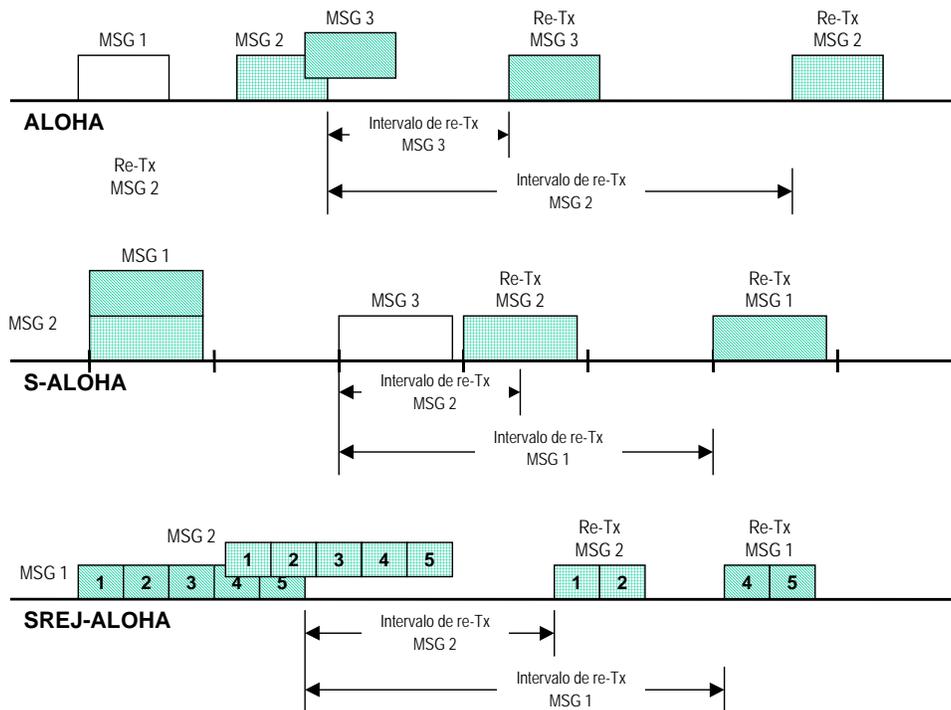


Fig. I.23 Operación de los Protocolos de Acceso Múltiple

1.4.2.4.4 Asignación por Demanda con Reservación

El método de asignación por demanda con reservación es más sofisticado que los anteriores y emplea dos niveles de acceso dependiendo del tamaño de los paquetes. Cuando la información del DTE hacia la VSAT cabe en un paquete que se ajusta a una sola ranura, la red opera en su primer nivel como S-aloha. En el segundo nivel, cuando la información del DTE es mayor, la VSAT prepara un paquete que contiene un pequeño campo de información en el cual solicita se le reserve cierta capacidad. La VSAT transmite el paquete hacia el Hub por medio de S-aloha. Si el mensaje llega al Hub, este le asignará varias ranuras a la VSAT en cuestión. El Hub informa a todas las VSATs de la red acerca de las ranuras reservadas con lo cual se evita que esa capacidad sea usada por otras terminales en ese periodo. De esta manera se le permite a la VSAT una transmisión libre de colisiones. Con este método se logra un excelente balance entre tiempo de respuesta y throughput, aun en caso de alto tráfico.

Por ejemplo, si una portadora de inbound opera a 128 kbit/s, entonces un grupo de VSAT que utilicen esa portadora podrían tener una capacidad permanente asignada de 2.4 kbit/s. A cada VSAT se le asigna una ranura de tiempo para transmitir y operar en modo TDMA. Esta capacidad permanentemente asignada mejora el desempeño de la red al mejorar la eficiencia de la portadora y el tiempo de respuesta. Por otro lado, el Hub reserva cierta capacidad para acceso en modo S-aloha. Esta capacidad sirve además como buffer en caso de que una VSAT requiera una mayor capacidad de la que tiene asignada. Estos ajustes mejoran la eficiencia al minimizar la posibilidad de colisiones. En el caso que un usuario sólo tenga aplicaciones interactivas, la capacidad permanentemente asignada será suficiente. De cualquier manera, si en algún momento dado los requerimientos de transmisión aumentan, la VSAT puede solicitar una capacidad mayor. El Hub puede asignarle parte de la capacidad que estaba reservada para s-aloha. Este esquema garantiza una respuesta rápida y un throughput alto.

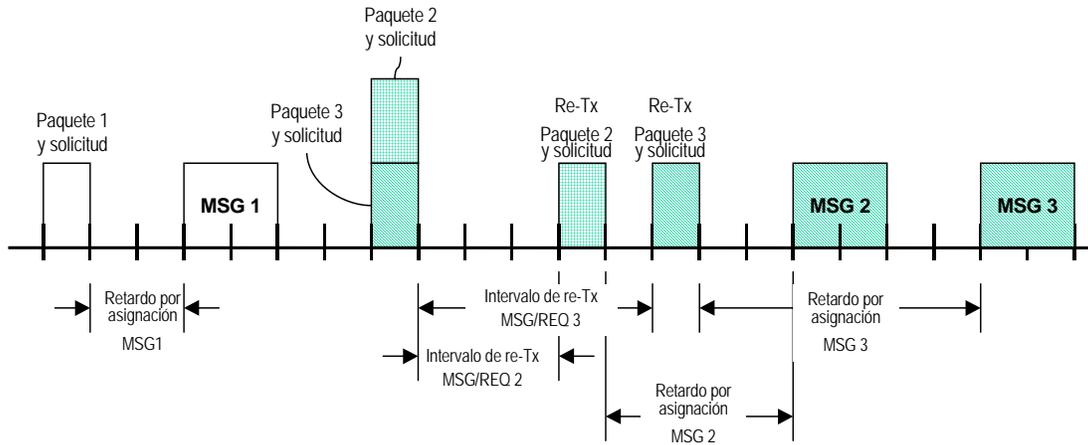


Fig. I.24 Operación en Modo de Asignación por Demanda con Reservación

1.4.2.5 Comparación de Desempeño

Los factores más importantes para seleccionar un protocolo de acceso son el tiempo de respuesta y throughput. Las redes modernas incorporan todos los protocolos mostrados para asegurar que la técnica más adecuada está disponible para cada usuario. Estas características permiten que la red opere con diversos grupos cerrados de usuarios (CUG), en los que cada grupo tiene una aplicación y protocolo diferente sin que se interfiera con el resto de la red. La tabla I.13 presenta un resumen del desempeño de los cuatro protocolos mencionados.

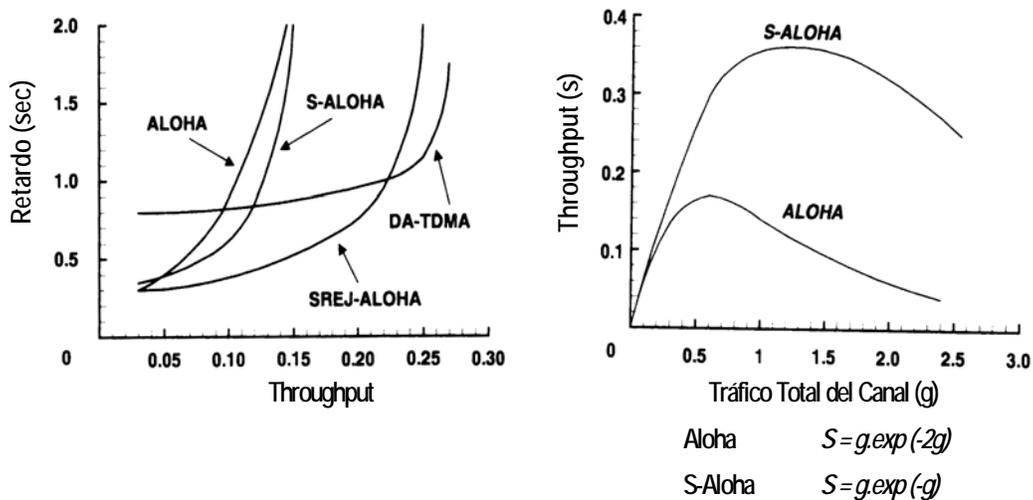


Fig. I.25 Comparación de la Eficiencia de los Protocolos de Acceso

Técnica	Max. Throughput	Retardo Típico	Aplicación	Comentarios
Aloha	13 ~ 18%	< 0.5sec	mensajes de tamaño variable	No se requiere de sincronía
S-aloha	25 ~ 36%	< 0.5sec	mensajes de tamaño fijo	
SREJ-aloha	20 ~ 30%	< 0.5sec	mensajes de tamaño variable	Capacidad semejante a S-Aloha
DA-TDMA	60 ~ 80%	< 2.0 sec	mensajes de tamaño variable	atractivo especialmente para mensajes largos (voz, archivos batch)

Tabla I.13 Comparación del Desempeño de los Protocolos de Acceso

1.4.2.6 Redes SCPC/DAMA

El método de Acceso Múltiple de Asignación por Demanda es un protocolo que utiliza un par de portadoras en modo SCPC para establecer un canal de comunicación. Estas redes son principalmente usadas para circuitos de voz y están compuestas por tres bloques principales.

- ✓ Sistema de Control y Administración de la Red (SNMS)
- ✓ Terminal de tráfico en el Hub
- ✓ Terminal de tráfico en la VSAT

El SNMS es el responsable de controlar las operaciones de la red, es decir, de asignar los recursos satelitales para cada circuito, descargar la configuración de los canales a través de los canales de control, y registrar las llamadas para su facturación.

El proceso para manejar llamadas es el siguiente:

Cuando un canal de voz requiere de un circuito, al tomar una línea, la VSAT informa al Hub sobre su identificador y el número marcado para que el controlador primario de DAMA (PDC) pueda identificar el origen y el destino de la llamada. Si los circuitos están ocupados, el PDC informa a la VSAT solicitante al producir un tono de ocupado. Si el destino no está ocupado, entonces el PDC le proporciona a ambas estaciones las frecuencias de sus portadoras para que sintonicen sus frecuencias e recepción y de transmisión y pueda iniciarse la comunicación.

Los números marcados son enviados a través del circuito satelital hacia la red terrestre (PSTN). Cuando se termina la llamada el PDC es informado y las portadoras son apagadas y los canales están de nuevo disponibles para alguna nueva petición de cualquier VSAT.

Una red DAMA puede operar con topología estrella o de malla. Una vez que la conexión se establece, la información se transmite sin la intervención del PDC. Todos los canales de DAMA de una estación comparten el mismo equipo de radiofrecuencia y la misma antena.

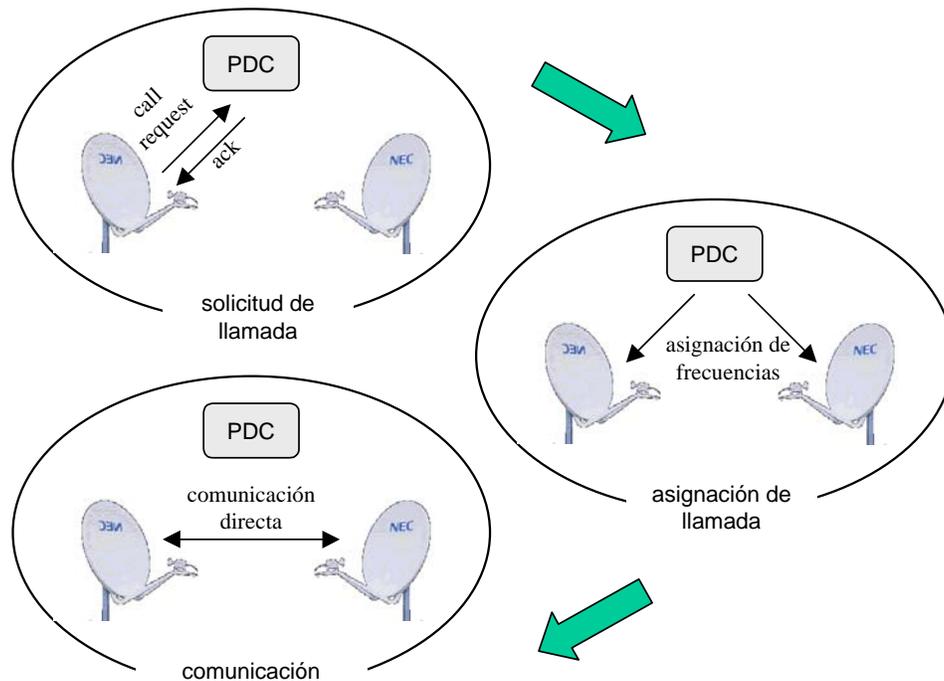


Fig. I.26 Operación del Protocolo SCPC/DAMA

Para minimizar el ancho de banda requerido, los sistemas DAMA suelen utilizar algoritmos de compresión de voz de baja velocidad (4.8 a 9.6Kbit/s) que mantienen una buena calidad de voz al tiempo que reducen los requerimientos de espacio satelital.

Como facilidad adicional, algunos sistemas DAMA emplean la activación por voz (VOX) que consiste en apagar las portadoras durante las pausas en una conversación. La activación reduce la potencia requerida del satélite. En un grupo de 100 canales o más, la reducción neta puede representar hasta 2.2 dB.

Capítulo Dos

II. SISTEMA DE SATÉLITES MEXICANOS

2.1 Sistema de Satélites Morelos

En 1982 México pagaba los servicios de comunicación de la organización INTELSAT. El INTELSAT IV en la posición orbital 53 Oeste, retransmitía cuatro canales de televisión hacia las comunidades rurales en todo el país; en los siguientes dos años, más de 160 estaciones terrenas fueron instaladas en varios sitios, muchas de las cuales fueron ligadas a transmisores de televisión de baja potencia. Millones de Mexicanos ahora disfrutaban de la misma programación que alguna vez estuvo solo disponible en México D.F.

Con el exitoso lanzamiento del Morelos I y II en 1985, las autoridades mexicanas de telecomunicaciones dieron fin al contrato con INTELSAT y trasladaron el tráfico al Morelos I; mientras que el Morelos II se puso en una órbita de almacenamiento para ser activado en 1988. El nombre de los Satélites recuerda a uno de los más famosos héroes de la revolución mexicana: Don José María Morelos y Pavón.

La telefonía rural constituye uno de los programas prioritarios de la SCT. Sistemas de telefonía privada y pública están actualmente ligadas vía Morelos con comunidades rurales a través de estaciones terrenas dedicadas. El sistema VSAT tiene grandes perspectivas de explotación en lo que se refiera a transmisión de datos punto a punto de grandes y medianos negocios.

Cada Satélite Morelos constaba de una docena de transponders de 36 MHz en la frecuencia de Banda C; se utilizaban TWTA de 7 Watts. El sistema también contaba con seis transponders de 72 MHz utilizando TWTA de 10.5 Watts. Y en adición a estos canales en banda C, se tenían cuatro transponders de banda ancha (108 MHz) en la banda Ku, estos utilizaban TWTA de 20 Watts que podían proveer un mínimo de 44 dBW a través de México. No obstante que la banda Ku fue diseñada originalmente para transmitir servicios de telefonía, datos y facsímil; parte de l espectro disponible en esta banda fue usada para transmitir programas ocasionales de video.

La puesta en órbita de estos satélites no solamente permitió la comunicación a lo largo del país, sino que incluso permitió el acceso a los servicios antes mencionados, a varios estados del sur de los Estados Unidos y algunos países del Caribe y Centro América.

Por lo general, la mayoría de los satélites están configurados con los mismos subsistemas, con variantes dependiendo del tipo de fabricante, particularmente para un satélite con estabilización por giro o por tres ejes.

Para el caso del Sistema Morelos cada satélite medía 2.16 metros de diámetro y 6.60 metros de altura, tenían una masa inicial en órbita de 666 Kgs., de los cuales 145 eran de hidracina (combustible), y prestaron servicio durante 9 años. En cada caso la fuente primaria de alimentación de energía eléctrica requerida para su operación, constaba de un dispositivo de celdas solares montadas sobre el cuerpo cilíndrico del satélite, y generaban 940 Watts de corriente directa. Además contaban con baterías de almacenamiento a bordo, capaces de generar 830 Watts, para casos de eclipse o de escasa iluminación de las celdas solares.

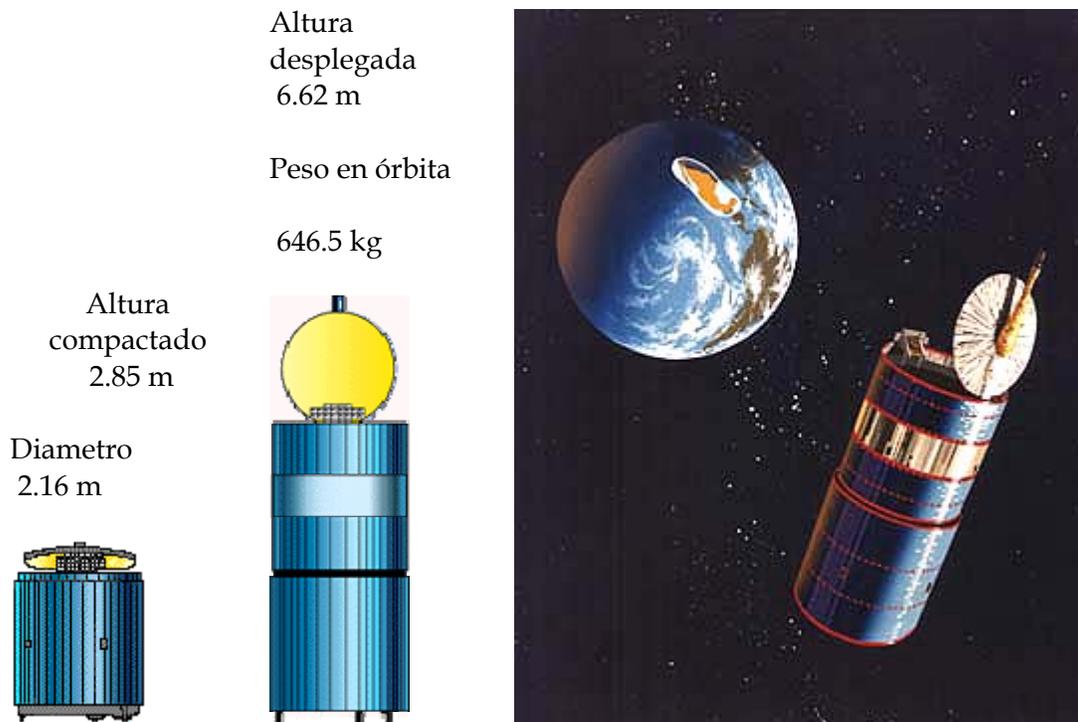


Fig II.1 Sistema de Satélites Morelos

México fue el primer cliente que utilizó al HS 376 como un satélite híbrido que opera en dos bandas de frecuencia (C y Ku). También fue el primer país latinoamericano al que Hughes sirvió como contratista principal en un proyecto de satélites. El contrato también requirió que Hughes fabricase e instalase una estación de rastreo, telemetría y comando para operar el sistema Morelos,

aproximadamente a unos 16 kilómetros al sudeste de la ciudad de México, en Iztapalapa.

Respondiendo a la creciente demanda de servicios de comunicación requeridos por los usuarios y efectuar el reemplazo del satélite Morelos I, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes a través de Telecomm, se dedicó a la tarea de planear y ejecutar un proyecto que solventara las necesidades de la comunidad nacional, tanto presentes como futuras, garantizando con el mismo, la continuidad de los servicios y ofreciéndolos ya no sólo nacional sino regional, lo cual dió origen al Programa de Satélite Solidaridad.

2.2 Sistema de Satélites Solidaridad

El Sistema de Satélites Solidaridad se compone de dos naves espaciales de estabilización por tres ejes del modelo HS-601 fabricados por la compañía Hugues Aircraft, con vida útil de 14 años; el Solidaridad I, lanzado el 19 de Noviembre de 1993 ocupaba la posición orbital 109.2 W, en tanto el Solidaridad II lanzado el 7 de octubre de 1994 ocupa la posición 113.0 W muy cercana a la que fue utilizada por el Morelos I, 113.5 W hasta marzo de 1994 fecha en que fue de-orbitado; ambos satélites cuentan con carga útil en las bandas C, Ku y L.

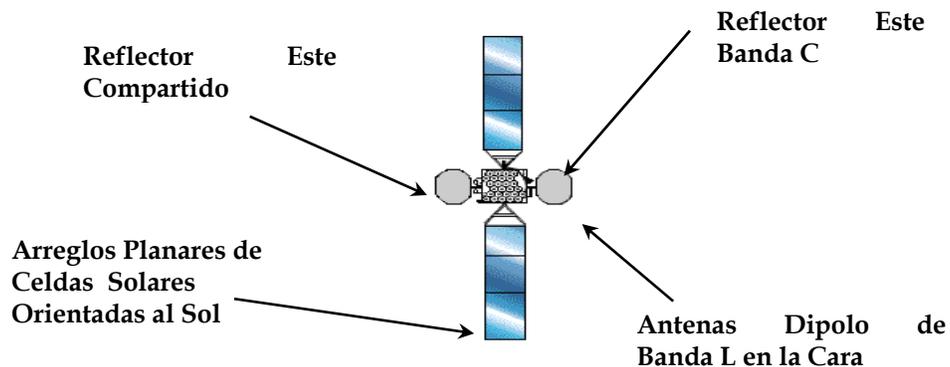
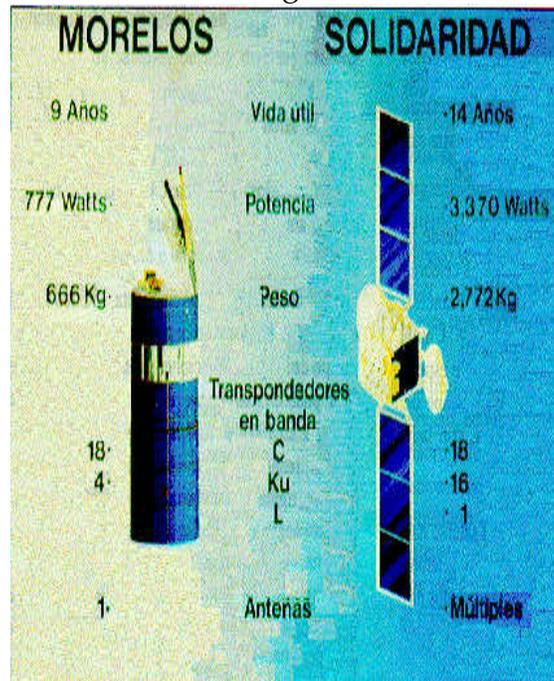


Fig II.2 Sistema de Satelites Solidaridad

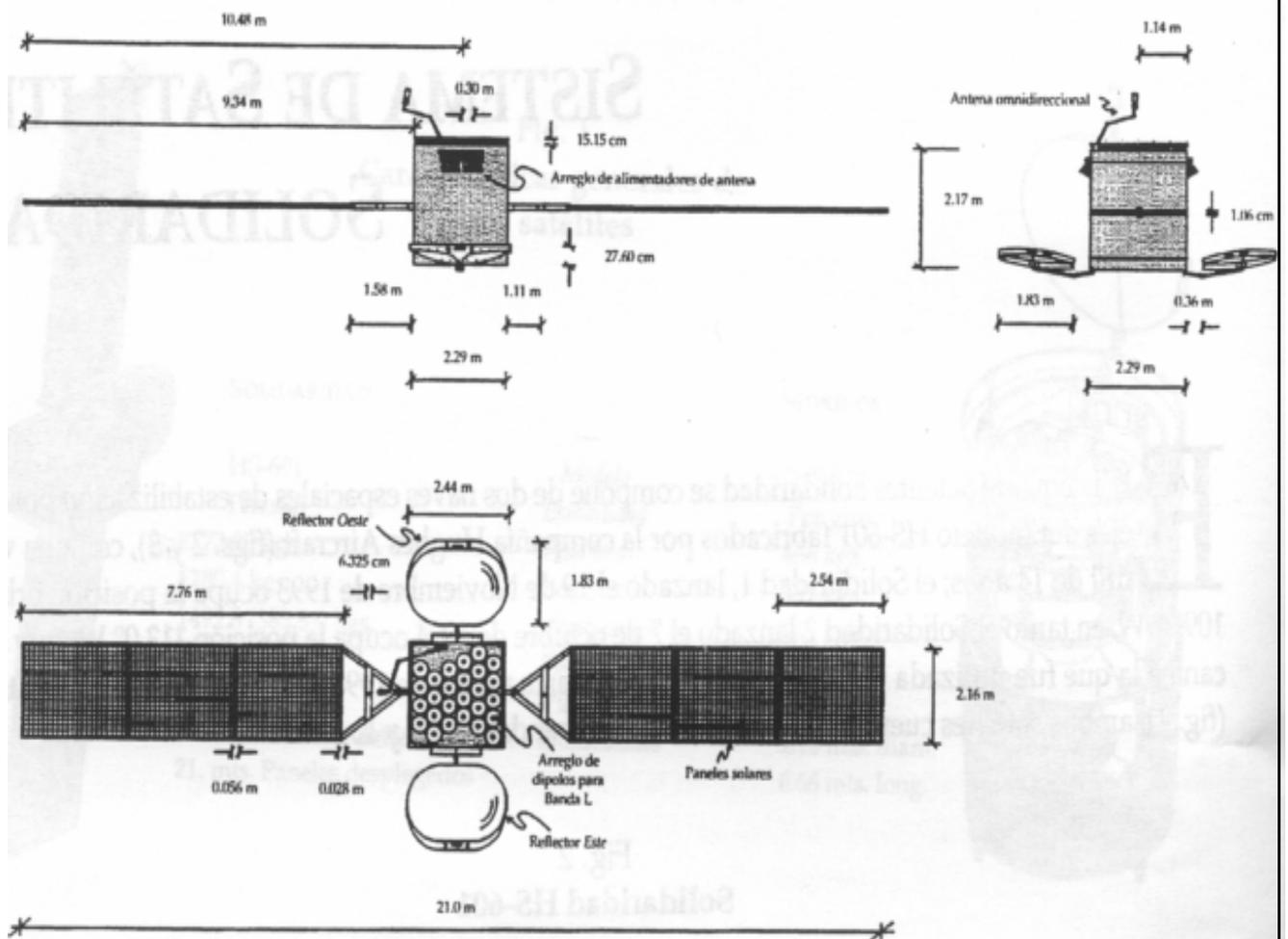


Fig. II.3 Dimensiones de los Satélite Solidaridad

Tomando como base el diseño de la Banda Ku de los Morelos, el de los Solidaridad es un diseño nuevo, con mayor capacidad en ancho de banda debido a la reutilización 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 permite hacer un uso más eficiente del recurso ancho de banda/potencia



Fig. II.4 Ubicación de los satélites mexicanos

2.2.1 Características del Sistema Solidaridad

La banda C tiene un total de 12 transpondedores de 36 MHz y 6 de 72 MHz operando en polarización Horizontal/Vertical y Vertical/Horizontal respectivamente.

La Banda L en la tercera banda en la que operan los Satélites Solidaridad; esta banda es utilizada para Comunicaciones Móviles por Satélites, el Sistema Solidaridad utiliza la polarización circular derecha. El rango de operación es de 1525 - 1595 MHz Espacio-Tierra y de 1626 - 1660.5 MHz tierra-Espacio.

Descripción	Banda C	Banda Ku	Banda L
No. Transpondedores	12 de 36 MHz (N) 6 de 72 MHz (W)	16 de 54 MHz	1 de 13.5 MHz (Sol-1) 1 de 13.0 MHz (Sol-2)
Espaciamiento de transpondedores	40 MHz (N) 80 MHz (W)	61 MHz	
Potencia de Salida	PIRE 37.5 dBW (N) PIRE 40.0 dBW (W) 16 SSPA's de 10 a 16 W 8 SSPA's de 14.4 W	PIRE 47 dBW 20 TWTA's de 45 W	PIRE 45.5 dBW 6 SSPA's de 24 w
Banda de Frecuencias (MHz)			
Transmisión Recepción	3700 - 4200 5925 - 6425	11700 - 12200 14000 - 14500	1525 - 1559 1626 - 1660
Capacidad del atenuador	0 - 14 dB pasos de 2 dB	0 - 22 dB pasos de 2 dB	0 - 15 dB pasos de 1 dB

Tabla II.1 características del sistema Solidaridad

2.2.2 Cobertura del Sistema de Satélites Solidaridad

El diseño de las cargas útiles de los satélites en banda C, Ku y L, posibilita el suministro de servicios a la mayor parte del continente americano dividiéndolo por áreas o regiones de cobertura.

Región	Banda	Cobertura
R1	C	México, Sur de EUA, Guatemala, BÉlice, Honduras y El Salvador
R2	C	R1, Sur de Florida, El Caribe, Centroamérica, Colombia y Venezuela
R3	C	Sur de Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Paraguay, Uruguay, Chile, Oeste de Brasil y Argentina
R4	Ku	México, Sur de EUA, Guatemala y BÉlice
R5	Ku	Toronto, La Habana y las ciudades más importantes de EUA
R6	L	México y su mar patrimonial

Tabla II.2 Regiones de Cobertura del Sistema Solidaridad

2.2.3 Características de la Banda C

El rango de frecuencias en Banda C es de 5.925 a 6.425 GHz para el enlace ascendente y de 3.700 a 4.200 GHz en el enlace descendente. Está compuesta por el mismo número de transpondedores que se temen en los satélites Morelos: 12 canales angostos de 36 MHz y 6 canales amplios de 72 MHz. 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 ésta banda cuenta con selección de haces para las regiones R2 y R3.

En ambos satélites la selección del haz ascendente a través de los canales 5N al 12N puede ser individual e independientemente conmutado para recibir de R1, R2 o R3; adicionalmente los transpondedores 11N y 12N pueden recibir de las regiones R2 + R3; en el Solidaridad 1 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.

Los canales AMPLIOS están diseñados para recibir únicamente desde R1 con polarización Vertical y transmitir únicamente hacia R1 con polarización Horizontal.

En el Solidaridad 2, los transpondedores 2N, 4N, 6N, 8N, 10N y 12N cubren la Región 2 en forma permanente. Los transpondedores restantes de banda C, tienen el mismo esquema de conmutación que el Solidaridad 1.

2.2.4 Amplificador de Potencia de Estado Sólido (SSPA)

Este amplificador tiene la capacidad de proporcionar hasta 16 Watts de potencia de Salida de RF, la potencia de salida puede ser seleccionada a menor nivel sin afectar sus parámetros de funcionamiento. En Solidaridad 2, los SSPA's están provistos de un limitador de potencia a la entrada para evitar la saturación.

Además los SSPA's proporcionan una mejor respuesta lineal, y una mayor eficiencia en RF, disminuyendo el consumo de potencia y la disipación térmica, y tienen una confiabilidad propicia para satisfacer los 14 años de vida especificados.

Existen 4 amplificadores (SSPA) de respaldo en Banda angosta y 2 en Banda amplia.

2.2.5 Especificaciones de los Transponders de Banda C

En la tablas siguientes, se presentan valores de operación de los transponders de la Banda C, tales como:

- Puntos óptimos de operación
- Características de Intermodulación y valores de Back-off de entrada (MIPBOI) y salida (MOPBO) para multiportadoras de los transponders angostos y amplios.
- Pasos de ganancia del atenuador (ATP) etc.

Plan de frecuencia Banda C

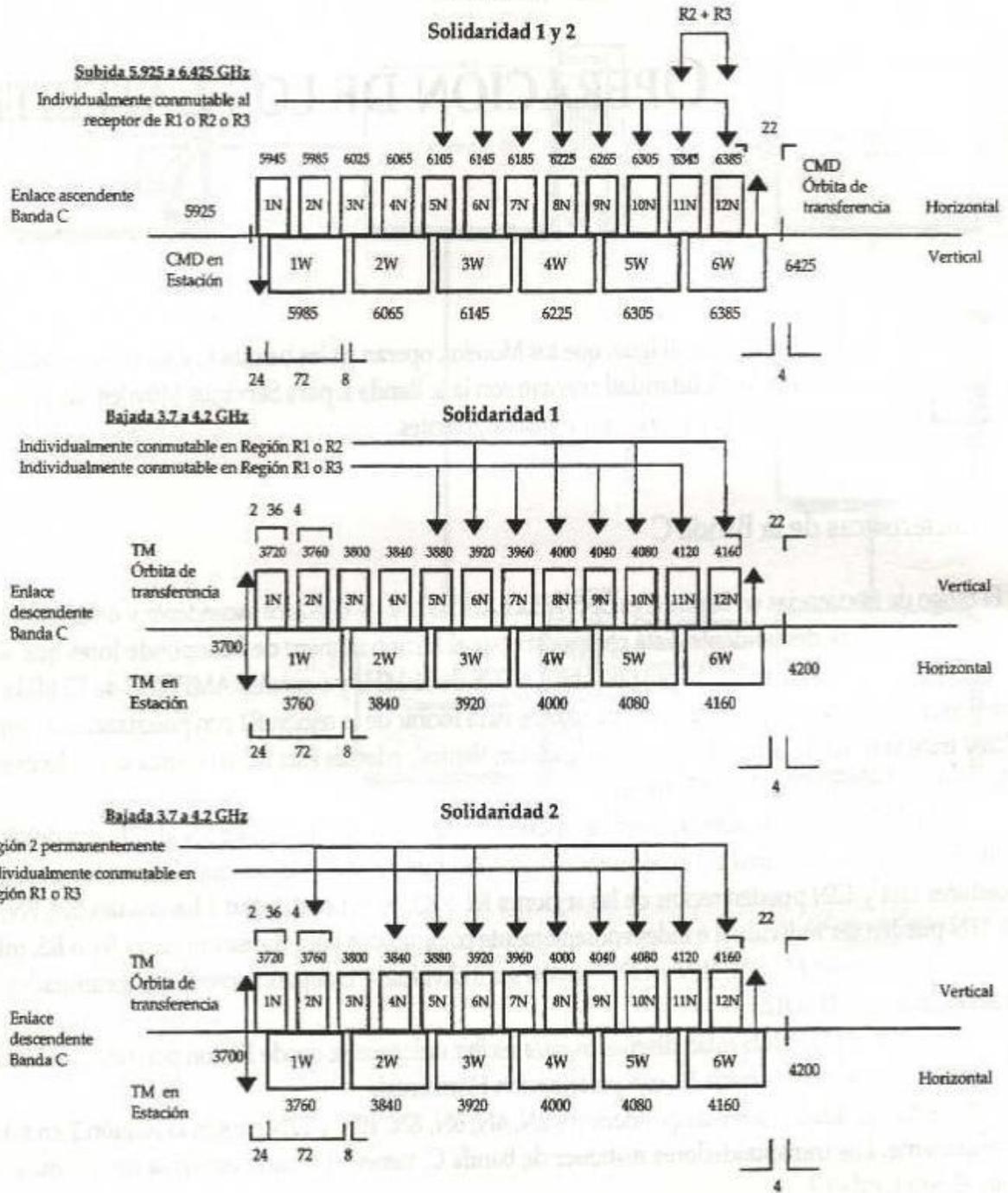


Tabla II.3 Asignación de frecuencias del Sistema Solidaridad

Servicio	SCPC	TV D.	TV A.	Teleaudiciones
Parámetros de Operación				
MIPBO (dB)	7.5	1.0	1.0	9.0
MOPBO (dB)	5.0	0.3	0.3	6.0
ATP (dB)	10.0	10.0	10.0	10.0
Densidad de Interferencia Satélite Adyacente				
Ascendente (dBW/Hz)	-110.0	-112.0	-112.0	-106.5
Descendente (dBW/Hz)	-15.0	-17.0	-17.0	-15.0
Polarización Cruzada				
Ascendente (dBW/Hz)	-112.5	-116.0	-116.0	-112.5
Descendente (dBW/Hz)	-107.5	-107.0	-107.0	-107.5
Canales Adyacentes				
Descendente (dBW/hz)	-110.0	-110.0	-110.0	-110.0
Intermodulación				
Ascendente (dB/Hz)	-106.0			-106.0
Descendente (dB/Hz)	-97.2			-94.8

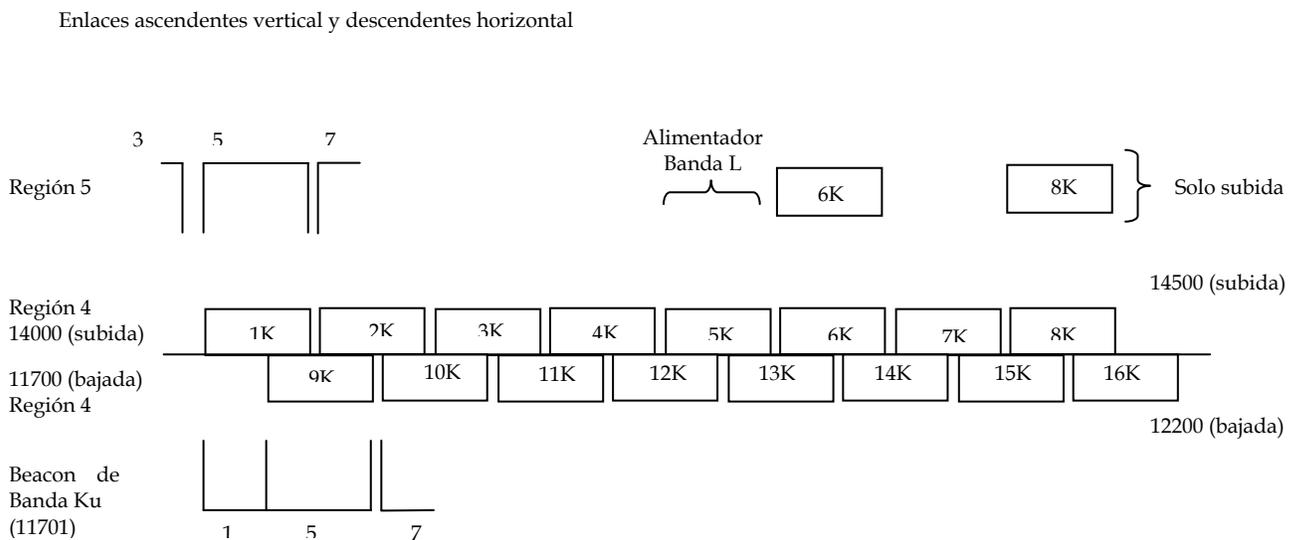
Tabla II.4 Parámetros de Operación del sistema de Satélites Solidaridad
Banda C Transponders Angostos

Servicios	SCPC	SCPC/TV	TV/FDM	FDM
Parámetros de Operación				
MIPBO (dB)	7.5	3.8	2.9	4.2
MOPBO (dB)	5.0	2.3	2.0	2.5
ATP	10.0	10.0	10.0	10.0
Densidades de interferencias Satelite Adyacente				
Ascendente (dBW/Hz)	-109.0	-11.0	-115.0	-115.0
Descendente (dBW/Hz)	-16.0	-18.0	-21.0	-21.0
Polarización Cruzada				
Ascendente (dBW/Hz)	-110.0	-110.0	-110.0	-110.0
Descendente (dBW/Hz)	-108.0	-109.0	-21.0	-115.0
Canales Adyacentes				
Descendente (dBW/hz)	-110.0	-110.0	-110.0	-110.0
Intermodulación				
Ascendente (dB/Hz)	-106.0	-106.0	-130.0	-130.0
Descendente (dB/Hz)	-100.7	-130.0	-130.0	-130.0

Tabla II.5 Parámetros de Operación del sistema de Satélites Solidaridad
Banda C Transponders Amplios

2.2.6 Características de la Banda Ku

El rango de frecuencias en Banda Ku es de 14,000 a 14,500 GHz para el enlace ascendente y de 11,700 a 12,200 GHz en el enlace descendente. Si se compara con los satélites Morelos, esta banda ha sido completamente rediseñada, teniendo un total de 16 transpondedores de 54 MHz, ocho de los cuales reciben en polarización Vertical y los ocho restantes en polarización Horizontal, y cuentan con 4 amplificadores TWT de respaldo.



Enlaces ascendentes horizontal y descendentes vertical

Fig. II.5 Plan de frecuencias Banda Ku

Servicios	SCPC TXP Linealizado	SCPC	Teleaudió n Digital	Video Comprimido a saturación	Video Comprimido a medio TP
Parámetros de Operación					
MIPBO (dB)	7.5	8.5	8.5	1.0	3.0
MOPBO (dB)	5.1	4.0	4.0	0.3	2.0
ATP	20.	20.0	20.0	20.0	20.0
Densidades de interferencias					
Satelite Adyacente					
Ascendente (dBW/Hz)	-120.0	-122.5	-122.5	-115.15	-108.3
Descendente (dBW/Hz)	-12.0	-12.0	-12.0	-16.70	-8.75
Polarización Cruzada					
Ascendente (dBW/Hz)	-112.6	-112.6	-112.6	-115.15	-108.3
Descendente (dBW/Hz)	-106.5	-106.5	-106.5	-115.15	-108.3
Canales Adyacentes					
Descendente (dBW/hz)	-110.0	-110.0	-110.0	-115.15	-108.3
Intermodulación					
Ascendente (dB/Hz)	-106.0	-106.0	-106.0	-115.15	-108.3
Descendente (dB/Hz)	Cte en dB	Cte en dB	Cte en dB	Cte en dB	Cte en dB

Tabla II.6 Parámetros de Operación del Sistema de Satélites Solidaridad Banda Ku

2.2.7 Características de la Banda L

El rango de frecuencias de la Banda L, asignada para los servicios móviles, es de 1525.0 a 1559.0 MHz para el segmento Espacio-Tierra y de 1626.5 a 1660.5 MHz para Tierra-Espacio. 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.

2.2.7.1 Funcionamiento

En el enlace de ida (Forward), en Banda Ku, se cursan las comunicaciones provenientes de una estación terrestre con diversos usuarios; en el satélite, se efectúa la traslación Ku/FI/ a FI/L y las trasmite 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.

A través del enlace de retorno (Return) , en Banda L, el arreglo de antenas dipolo recibe las señales de los usuarios móviles, se efectúa la traslación LFI a FI/Ku, y las regresa en banda Ku a las estaciones terrestres.

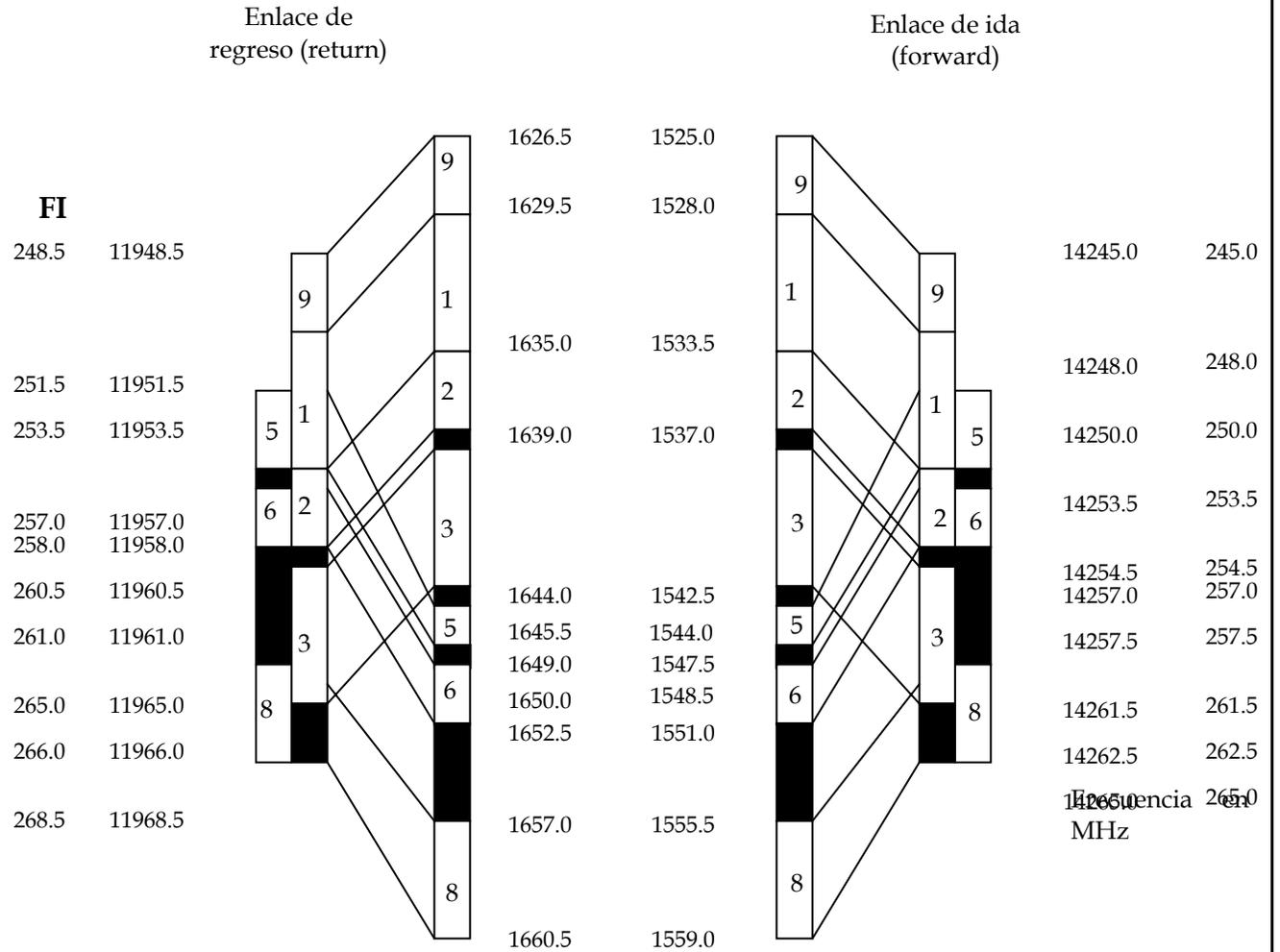
La Banda L para el servicio móvil, se divide en cuatro sub-bandas en el Solidaridad I y tres en el Solidaridad 2, independientemente controlables con un rango de ancho de banda de 2.5 a 8 MHz. Estas sub-bandas son contiguas a la Banda Ku dentro del canal 5, permitiendo el uso del ancho de banda remanente 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.

Banda L PIERA (dBW) en el Satélite	Enlace con las E/T Base PIRE (dBW) en el Satélite	Banda L G/T (dB/°K) en el Satélite	Enlace con las E/T Base G/T (dB/°K) en el Satélite
45.5 (EOC Mar Patrimonial)	41.5 (Banda Ku)	-1.1 (EOC Mar Patrimonial)	+2.5 (Banda Ku)
46.4 (Territorio Continental)		-0.2 (Territorio Continental)	

Tabl II.7 Potencia Isotrópica Radiada Efectiva Acumulada y G/T de la Banda L

Plan de Frecuencia Banda L Sistema Solidaridad



Sub-bandas de Frecuencia del Sistema Solidaridad

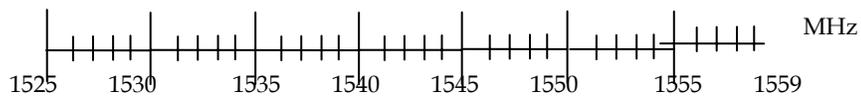


Fig. II. 6 Plan de frecuencias Banda L

2.2.8 Explotación

En las siguientes tablas, se muestra la asignación y la utilización de los transpondedores, recomendados para los satélites Solidaridad, así como las facilidades de conectividad entre regiones.

2.2.8.1 Características de los Transpondedores

Banda	No. TXPs	B (MHz)	Cobertura (Región)	Polarización		
				Enlace Ascendente	Enlace Descendente	TXPs
C	Sol-1 6	72	R1	Vertical	Horizontal	Todos
	12	36	R1,R2,R3	Horizontal	Vertical	Todos
	Sol-2 6	72	R1	Vertical	Horizontal	Todos
	6	36	R1 y R3	Horizontal	Vertical	Todos
Ku	6	36	R2	Horizontal	Vertical	Todos
	16	54	R4,R5	Vertical Horizontal	Horizontal Vertical	1K a 8K 9K a 16K
L	1*	Sol-1 13.5	R6	Vertical (Ku)	Circular Derecha(L)	5K
		Sol-2 13.0		Circular Derecha (L)	Horizontal (Ku)	5K

Tabla II.7 Características de transpondedores

Los valores mostrados son válidos para ambos satélites a menos que se indique lo contrario.

TXPs= Transpondedores

B= Ancho de Banda

*Para el tráfico de Banda K se utiliza la parte baja del Transpondedor 5 de Banda Ku (5K) de cada satélite. El transpondedor de Banda L está conformado por 4 sub-bandas para un total de 13.5 MHz para Solidaridad 1 y el transpondedor de Solidaridad 2 está conformado por 3 sub-bandas para un total de 13.0 MHz.

2.2.8.2 Capacidad Instalada

Región	Banda	No. De TXPs	B (MHz)	PIRE* (dBW)	Servicios Recomendados
R1	C	Sol-1 4	36	37.50	Distribución de señales analógicas: Telefonía, Televisión o Teleaudición Distribución de señales analógicas, digitales, voz y/o datos, Televisión, Teleaudición
		6	72	40.50	
R2	C	Sol-2 2	36	37.50	Distribución de Televisión Analógica y Teleaudición Digital Redes Digitales de Voz y Datos
		6	72	37.50	
R3	C	Sol-1 4	36	37.00	Distribución de Televisión Analógica y Teleaudición Digital Redes Digitales de Voz y Datos
		Sol-2 6	36		
R4	Ku	14	54	47.00	Distribución de Televisión (Digital y/o Analógica) Redes Digitales de Voz y Datos
R5	Ku	2	54	46.50	Distribución de Televisión (Digital y/o Analógica) Redes Digitales de Voz y Datos
R6	L	1	Sol-1 13.5	45.5@	Comunicaciones Móviles de Voz y Datos: Terrestres, Marítimas y Aéreas
			Sol-2 13		

Tabla II.8 Capacidad y servicios recomendados Solidaridad

Los valores mostrados son válidos para ambos satélites a menos que se indique lo contrario.

TXPs= Transpondedores

PIRE=Potencia Isotrópica Radiada Efectiva

B= Ancho de Banda

@=PIRE acumulada (PIREA)

*PIRE de saturación (excepto R6), disminuye al introducirse más de una portadora en el transpondedor (deberá considerarse un Back-off).

2.2.8.3 Conectividad ente Regiones

Banda	Enlace Ascendente (EA)	Enlace Descendente (ED)	TXPs
C	R1	R1	Solidaridad 1 1N a 12N 1W a 6W
			Solidaridad 2 2n y 4N sólo enlaces ascendentes 6N,8N,10N y 12N 1N,3N,5N,7N,9N,11N 1W al 6W
	Solidaridad 1 R1 o R2 o R3 R2 + R3	R2 R2	6N,8N,10N y 12N 12N
	Solidaridad 2 R1 o R2 o R3 R2 + R3	R2 Permanente	2N,4N,6N,8N,19N y 12N 12N
	R1 o R2 o R3 R2 + R3	R3 R3	5N,7N,9N y 11N 11N
Ku	R4	R4	1K a 16K
Ku	R4	R5	6K
	R5	R4	6K y 8K
	R5	R5	6K
L	R6	R6	1L

Tabla II.9 Regiones para las diferentes bandas

Los valores mostrados son válidos para ambos satélites a menos que se indique lo contrario.

2.3 Satélite SATMEX V

Satmex V es un satélite geostacionario que proporciona servicios de comunicaciones comerciales como Internet, telefonía internacional, televisión analógica y digital, transmisión de datos y distribución de contenido multimedia. Se encuentra ubicado en la órbita 116.8° W.

Satmex V pertenece a la familia B-601HP de alta potencia y de estabilización triaxial. Su diseño lo dota con más de 7000 watts de potencia para la operación de la carga útil.

Los beneficios que se tiene con Satmex V son:

- Cobertura continental en banda C y banda Ku
- Alta potencia en ambas bandas, ideal para nuevas aplicaciones con antenas más pequeñas.
- Flexibilidad en la configuración de redes de usuarios.

Huella en banda Ku dedicada a Norteamérica con excelente ángulo de elevación

2.3.1 Especificaciones de SATMEX V

Descripción	Transponder 36 MHz Banda C	Transponder 36 MHz Banda Ku
PIRE (dBW) en la orilla de la cobertura	39	Ku 1: 49.0 Ku 2: 46.0
G/T (dB/°K) en la orilla de la cobertura	-2	Ku 1: 0 Ku 2: -1.5
Densidad de flujo a saturación (dBW/m ²)	-93	Ku 1: -93 Ku 2: -95
No. de transpondedores	24	24
Redundancia	30 TWTAs para 24 canales	32 TWTAs para 24 canales
Rango de atenuación de entrada	0 a 15 dB en pasos de 1 dB	0 a 20 dB en pasos de 1 dB
Inicio de operación	Enero de 1999	
Vida estimada de operación	Más de 15 años	

Tabla II.10 Especificaciones de Satmex V

2.3.2 Parámetros de Segmento Espacial

Satmex 5	Banda C	Banda Ku	
		Ku-1 NAFTA	Ku-2 Continental
PIRE (dBW)			
Washington D.C.	39.7	52.2	47.3
San Francisco	40.0	51.8	48.2
Miami	41.0	50.1	47.9
San Juan	39.9		47.2
México D.F.	40.8	51.5	47.7
Tegucigalpa	40.5	48.0	48.0
Caracas	40.1		47.1
Lima	40.0		47.8
Buenos Aires	40.7		48.0
Sao Paulo	39.0		47.1
G/T (dBW/K)			
Washington D.C.	-2.0	+4.7	+1.3
San Francisco	-1.5	+2.0	+2.4
Miami	+1.9	+2.6	+1.1
San Juan	-1.3		+1.9
México D.F.	+0.5	+4.2	+3.6
Tegucigalpa	+2.3	-4.5	+2.6
Caracas	-0.1		+1.3
Lima	-0.7		+2.7
Buenos Aires	-1.0		+1.3
Sao Paulo	-2.8		+1.5

Tabla II. 11 Parámetros de segmento espacial de Satmex V

2.4 Satélite SATMEX VI

Satmex VI es un satélite modelo FS-1300X construido por Space Systems/Loral, capaz de generar 14.1 kW (BOL) con un total de 60 transpondedores; 36 en banda C para tres coberturas: Estados Unidos, Sudamérica y Continental; y 24 en banda Ku con dos coberturas: Estados Unidos-México y Continental, con un haz de alta potencia sobre las principales ciudades en Sudamérica.

Ofrece beneficios adicionales: reducción del tamaño de antenas, linealizador en cada canal, coberturas configurables, alta potencia en Sudamérica y el Caribe, y un solo satélite con servicio para las Américas en bandas C y Ku



Fig. II.7 Satélite Satmex VI

2.4.1 Especificaciones SATMEX VI

	Banda C 36 MHz			Banda Ku 36 MHz	
	C1 CONUS + Hawaii	C2 Sudamérica	C3 Continental	Ku-1 Estados Unidos y México	Ku-2 Continental + haz regional en Sudamérica
Cobertura					
PIRE (dBW) a la orilla de la cobertura	40	39	38	49	Continental: 46 Sudamérica: 49
Número de transpondedores	12 Conectividad N-S	12 Conectividad N-S	12 fijos	12 fijos + 6 conmutables	6 fijos + 6 conmutables
Densidad de flujo en saturación a la orilla de la cobertura (dBW/m ²)	-92	-92	-92	-92	Continental: -92 Sudamérica: -95
Redundancia	16:12	16:12	16:12	16:12	16:12
Potencia nominal (W)	42	33	47	150	250
Rango del atenuador	0 a 15 dB en pasos de 1 dB			0 a 20 dB en pasos de 1 dB	
Control Automático de Nivel (ALC)				0 a 15 dB en pasos de 0.5 dB	
Tolerancia de deriva (station keeping)	+ 0.05° N-S + 0.05° E-W				
Vida útil estimada	15 años				

Tabla II.12 Especificaciones de Satmex VI

2.5 Huellas de cobertura de las bandas C y Ku del Satélite Solidaridad II

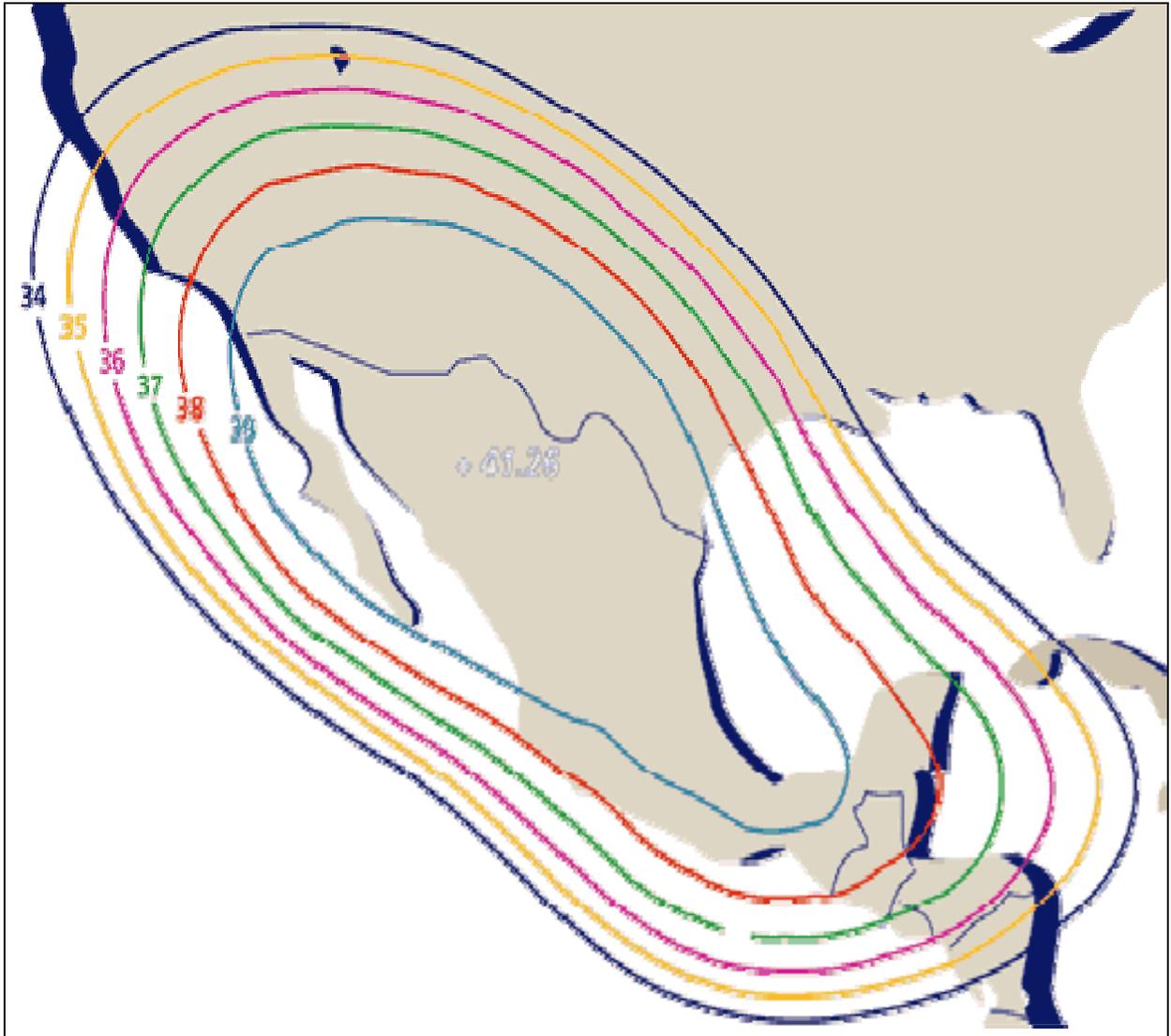


Fig. II. 9 Cobertura Satélite Solidaridad II Banda C, región 1

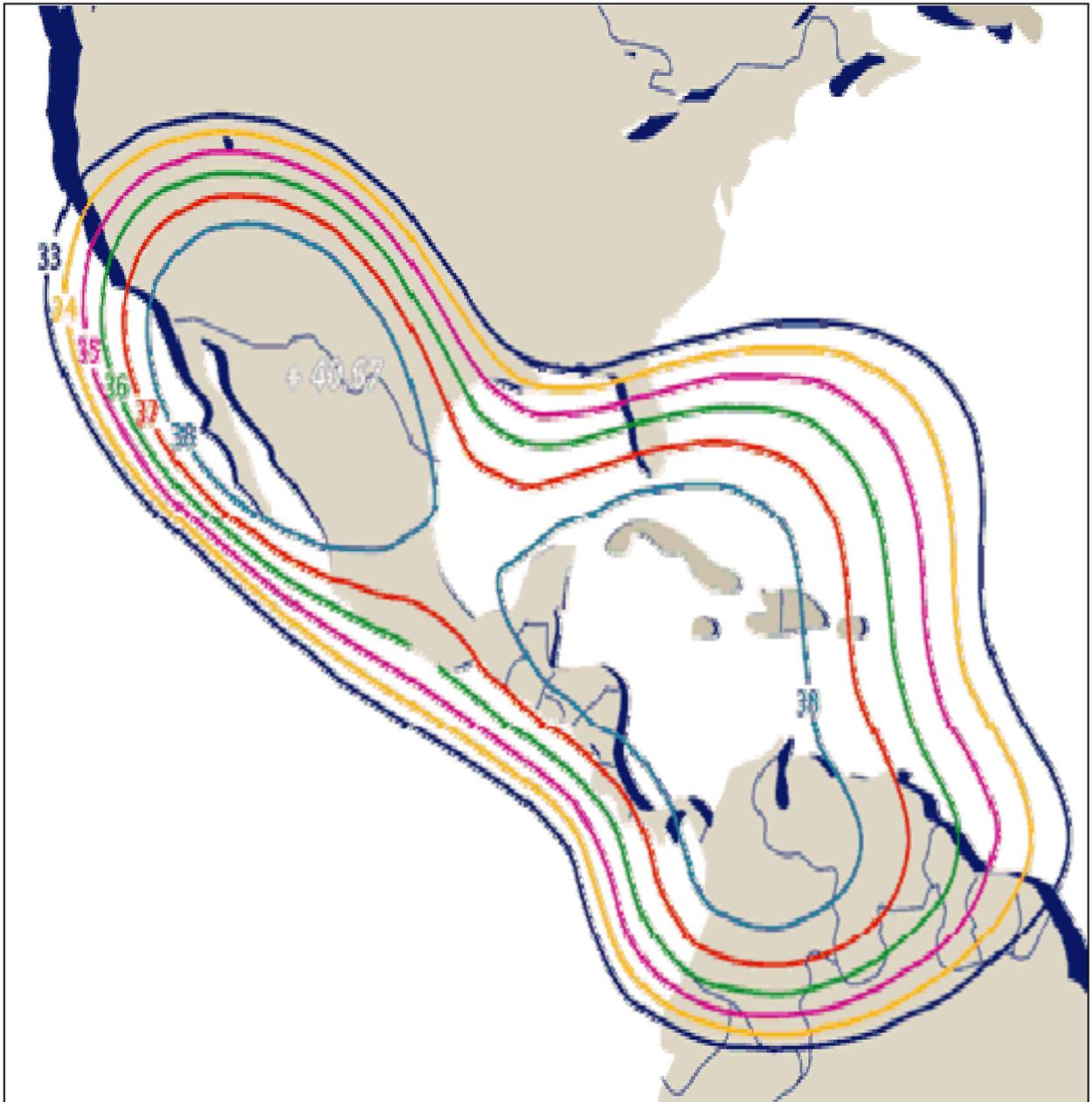


Fig. II.10 Cobertura Satélite Solidaridad II Banda C, región 2

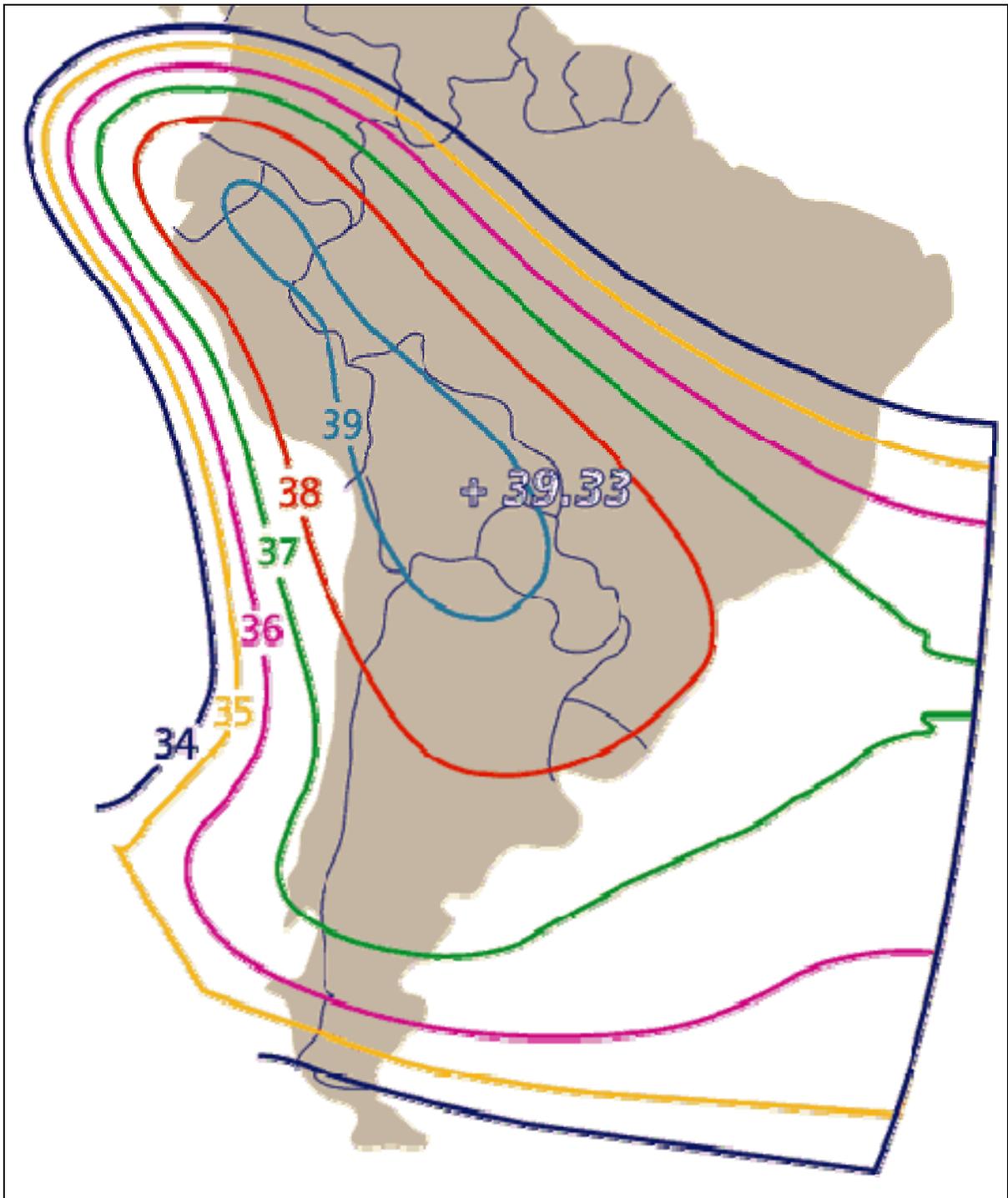


Fig. II.11 Cobertura Satélite Solidaridad II Banda C, región 3

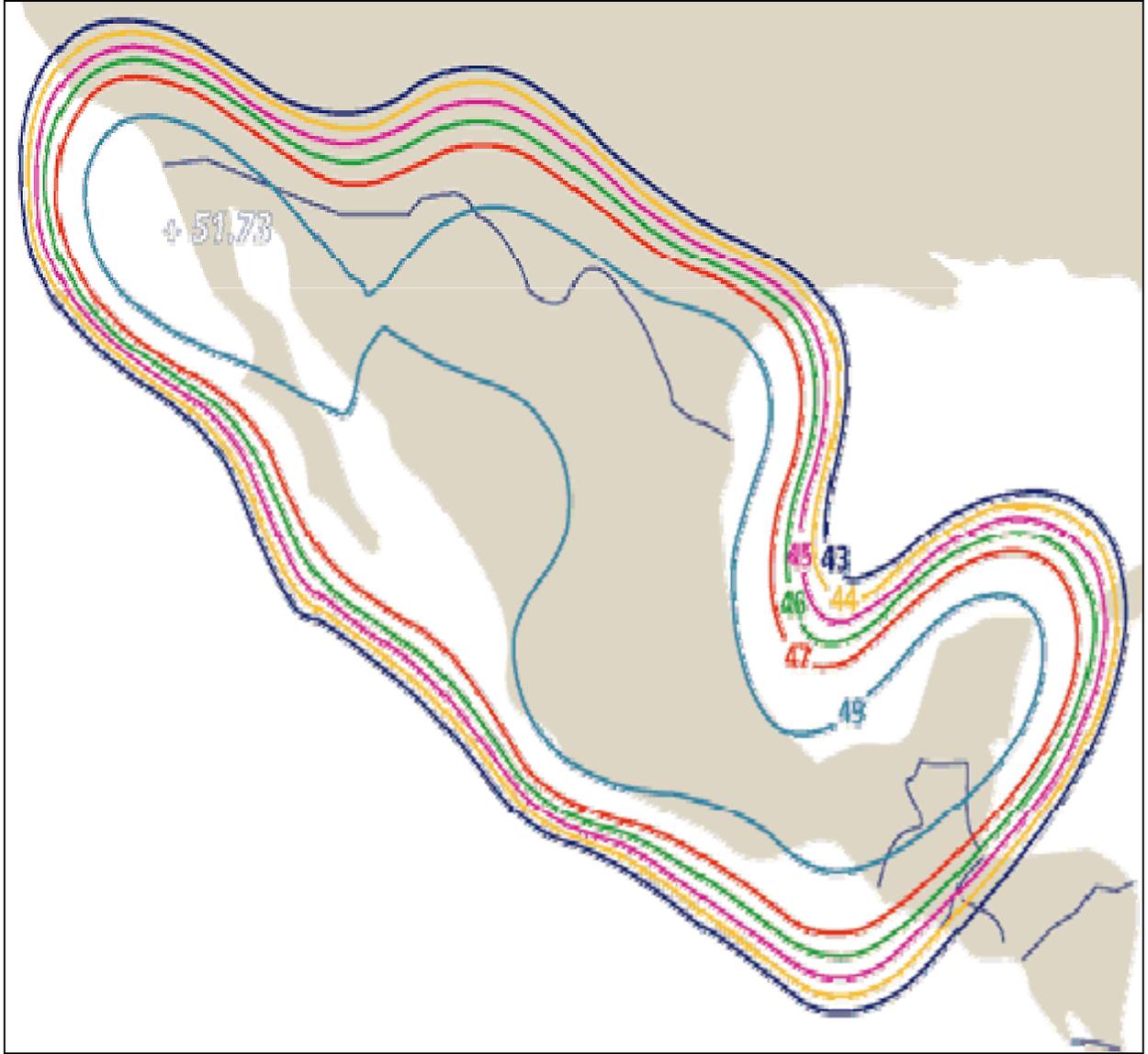


Fig. II. 12 Cobertura Satélite Solidaridad Banda Ku, región 4

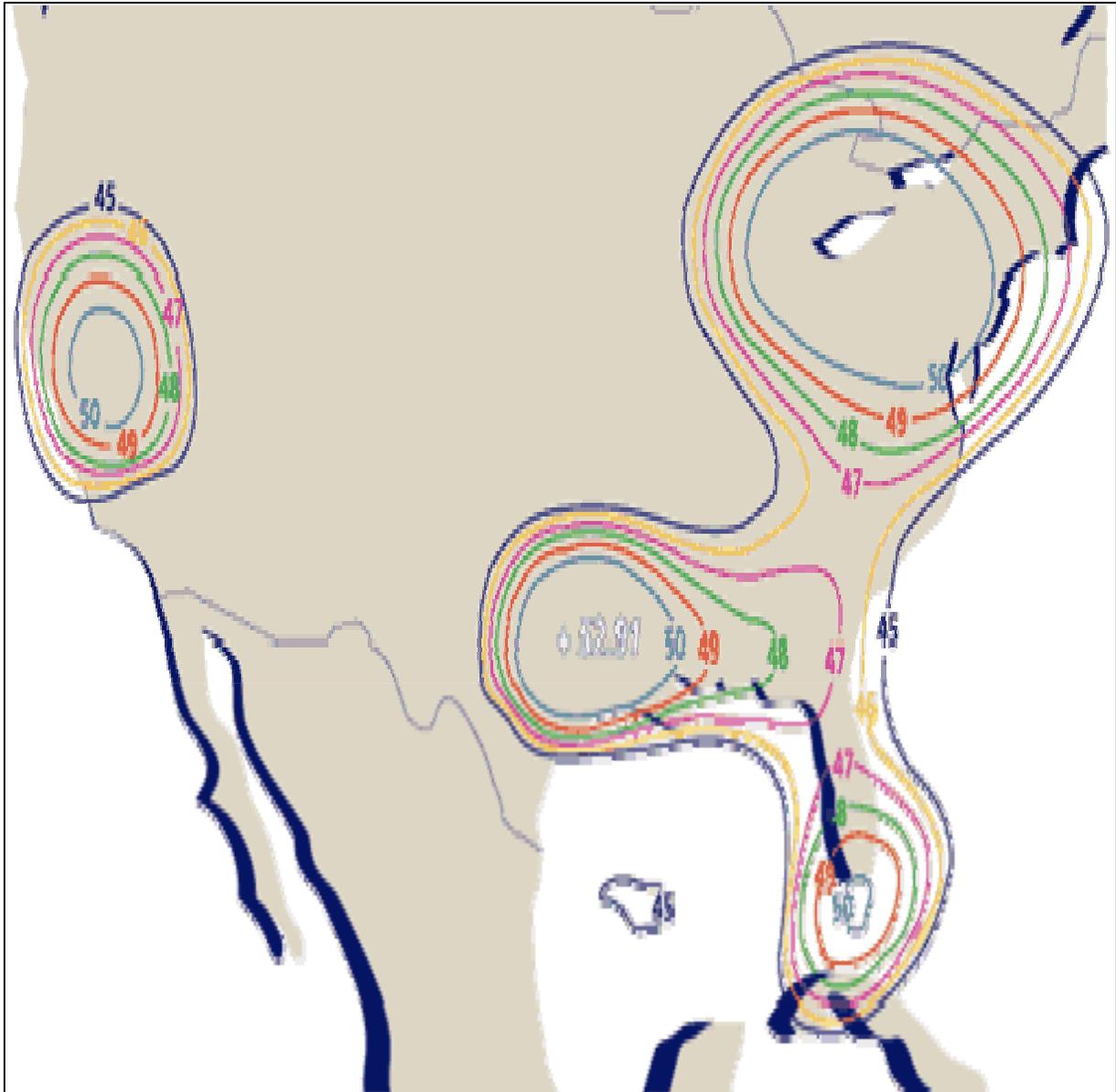


Fig. II. 13 Cobertura Satélite Solidaridad Banda Ku, región 5

2.6 Huellas de cobertura de las bandas C y Ku del Satélite Satmex V

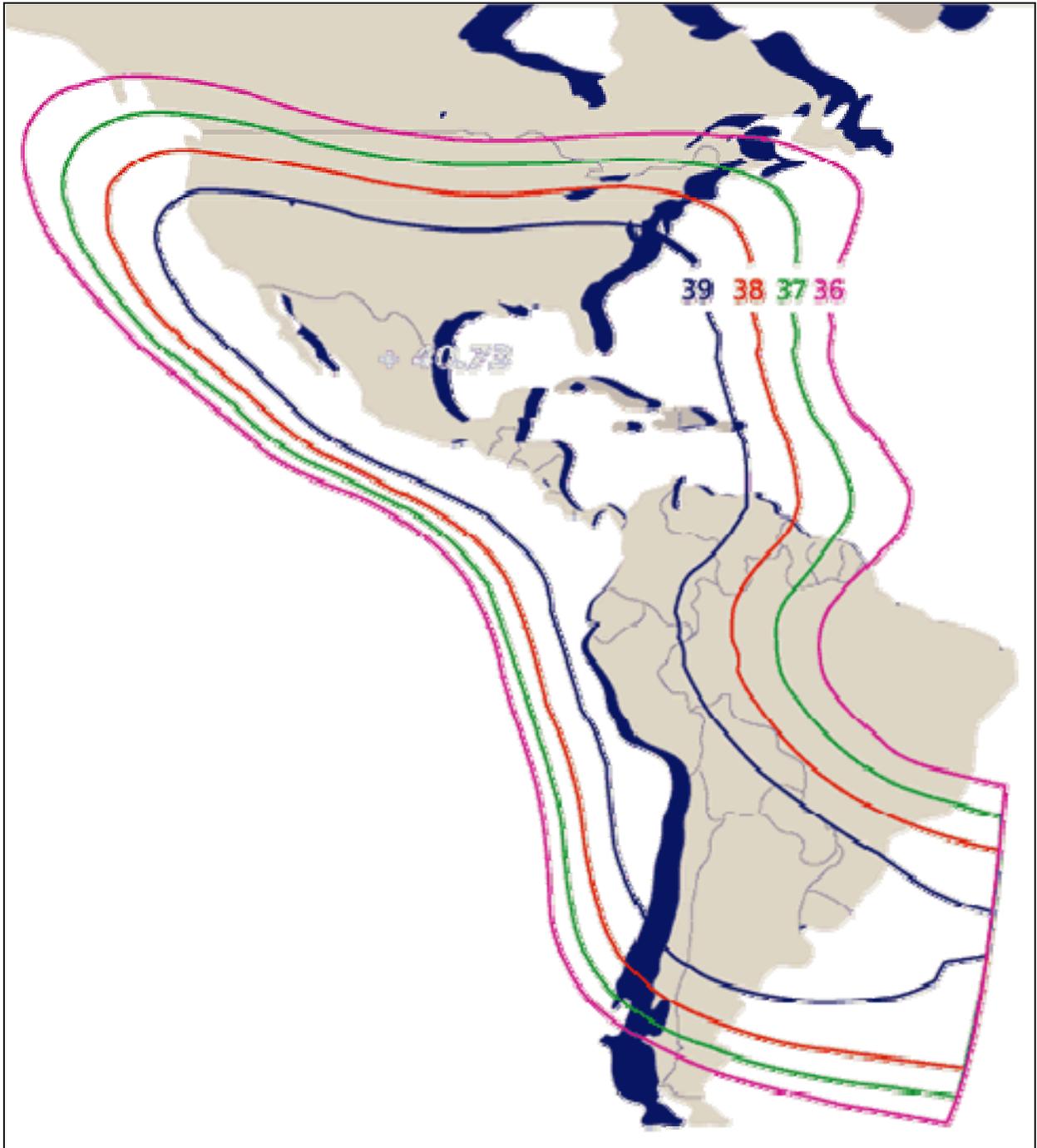


Fig. II.14 Cobertura Satélite Satmex V Banda C

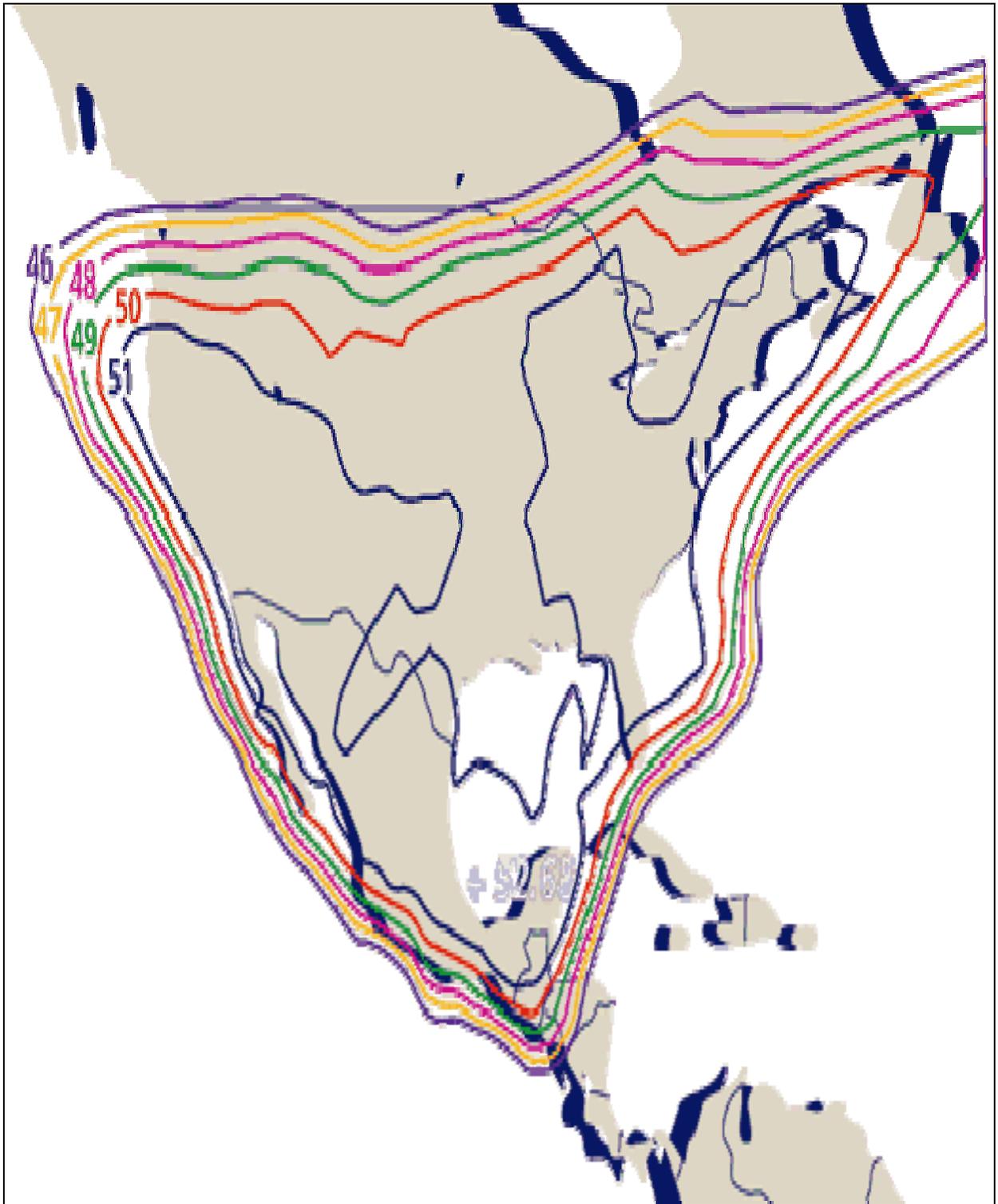


Fig. II.15 Cobertura Satélite Satmex V Banda Ku-1

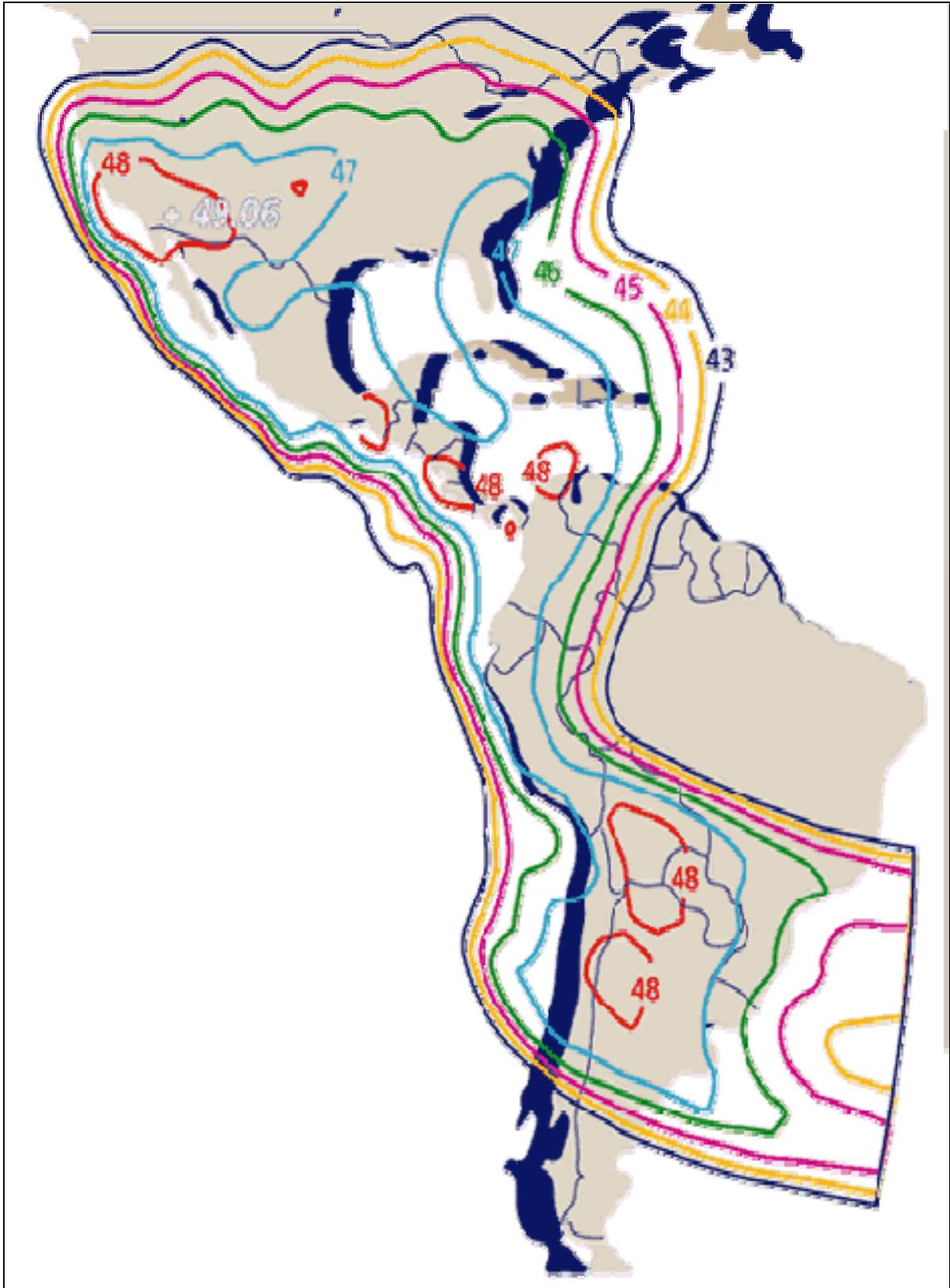


Fig. II.16 Cobertura Satélite Satmex V Banda Ku-2

2.7 Huellas de cobertura de las bandas C y Ku del Satélite Satmex VI



Fig. II.17 Cobertura Satélite Satmex VI Banda C-1



Fig. II.18 Cobertura Satélite Satmex VI Banda C-2

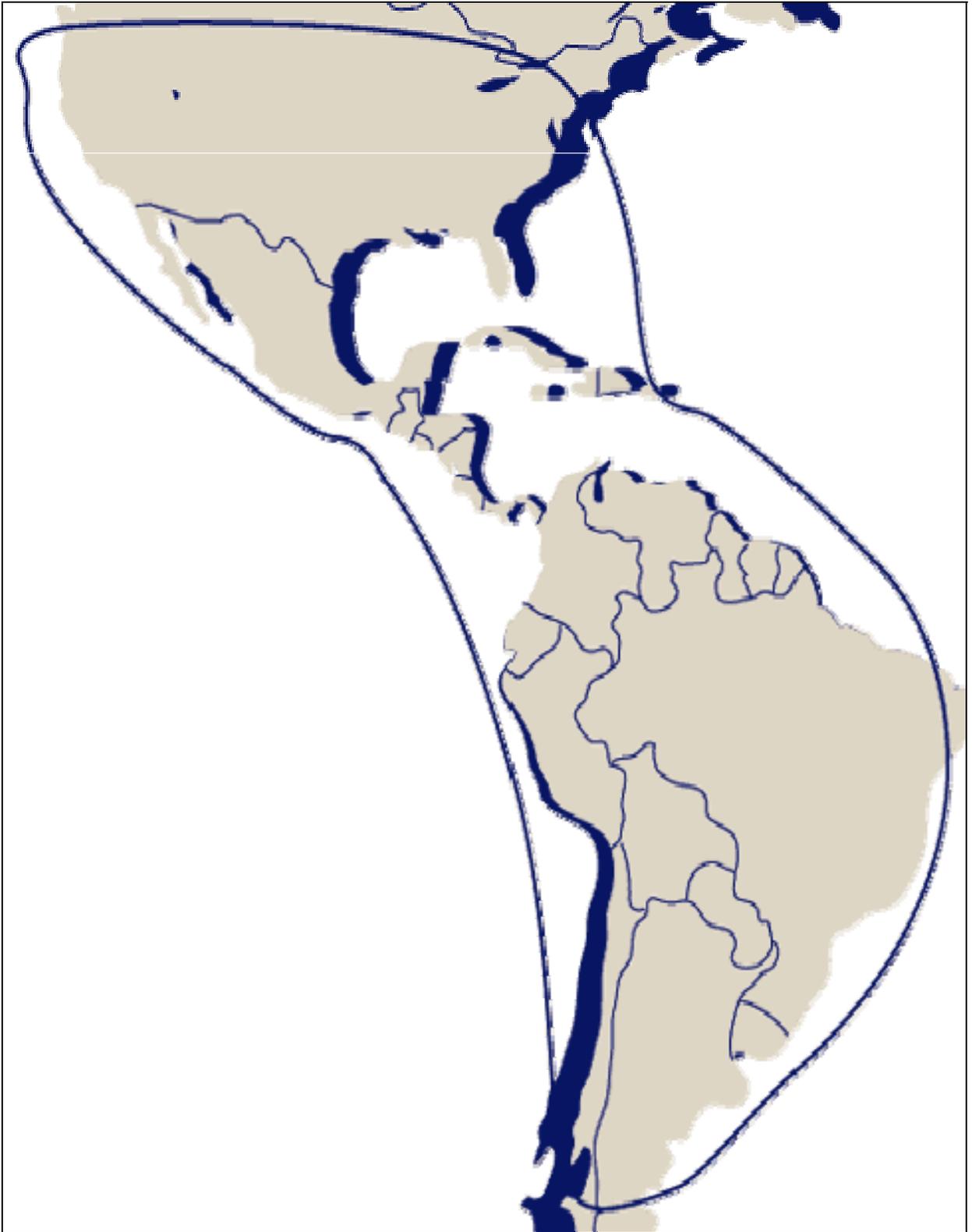


Fig. II.19 Cobertura Satélite Satmex VI Banda C-3

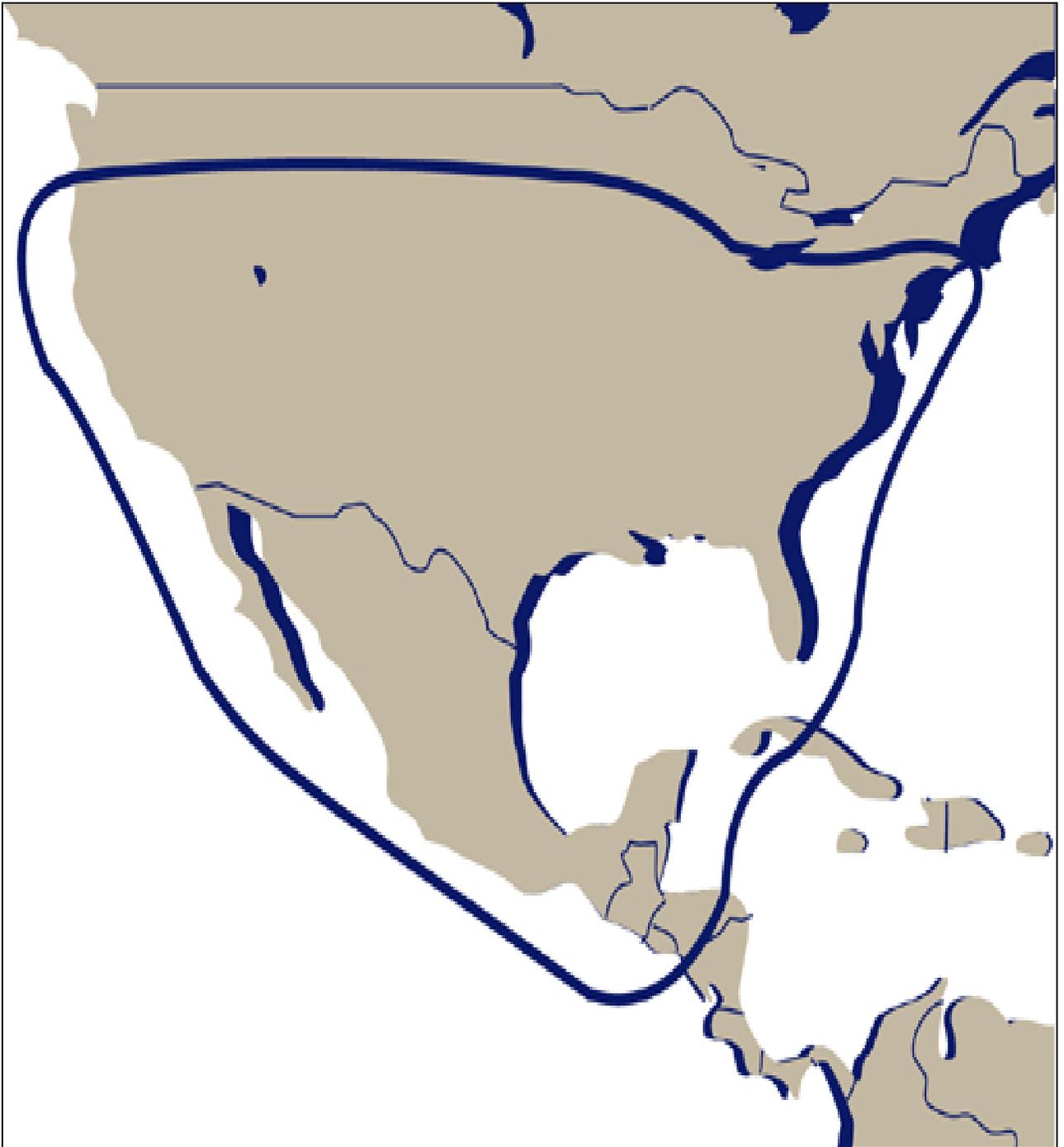


Fig. II.20 Cobertura Satélite Satmex VI Banda Ku-1

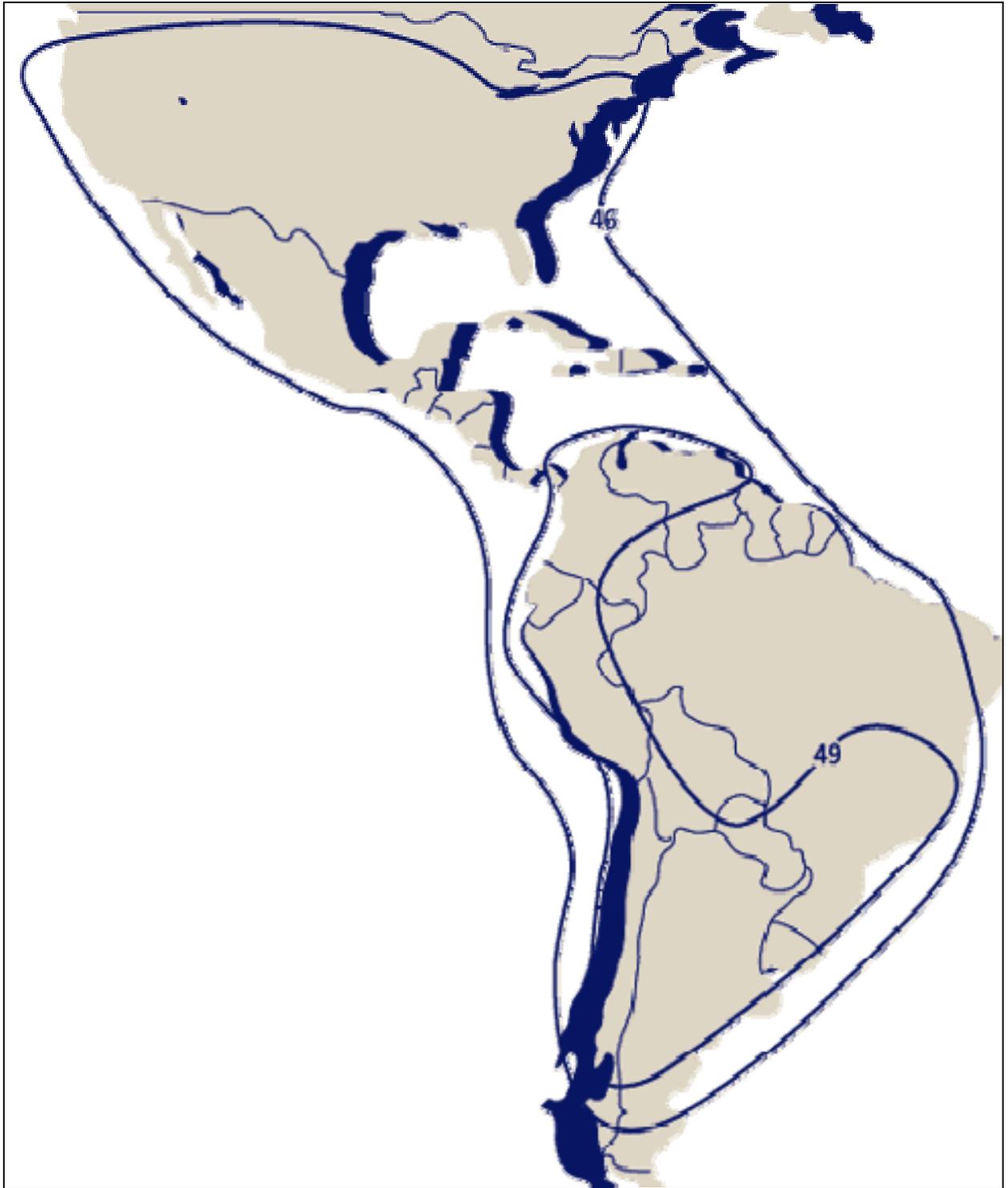


Fig. II.21 Cobertura Satélite Satmex VI Banda Ku-2

Capítulo Tres

III Cálculos de Enlace

El propósito de un análisis de enlace es determinar la calidad de transmisión que se espera para señales moduladas de un punto a otro. Esto se expresa principalmente como una relación de potencia portadora a la potencia de ruido que ocupan un mismo canal de transmisión-recepción.

Un enlace de telecomunicaciones del servicio fijo por satélite está diseñado para proporcionar, lo más económicamente posible, conexiones fiables de buena calidad entre dos puntos fijos en la Tierra. Para ello, la señal emitida por la estación transmisora debe llegar a la estación receptora con un nivel suficiente para garantizar la calidad requerida, a pesar de todas las fuentes de ruido que degradan dicha calidad. La relación entre las potencias en radiofrecuencia de la portadora y del ruido, es un parámetro que gobierna la calidad de la señal en banda base recibida. Se denomina a este parámetro relación portadora/ruido, habiéndose determinado valores recomendados para varios tipos de sistemas que han sido documentados por el CCIR.

Para calcular la calidad en la banda base de un enlace espacial, es necesario conocer la calidad del radio enlace en radiofrecuencia, C/N , es decir, el valor de la relación entre la potencia de la portadora modulada, C , recibida y la potencia de ruido, N , resultante del efecto acumulado de todas las fuentes de ruido en todo el enlace. La finalidad última del balance de enlace es el cálculo de la relación C/N .

Con los conceptos presentados aquí, los efectos de varios parámetros de las estaciones terrenas y el satélite se pueden examinar y aplicar para muchos y diversos tipos de enlace por satélite.

Debido al amplio panorama de estos tópicos, sólo comentaremos brevemente los principales conceptos que nos ayudan a conformar los diseños básicos de enlace por satélite.

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

(Enlace de Bajada) y el segundo número se refiere a la frecuencia del enlace entre la estación terrena y el satélite (Enlace de subida).

Los satélites comerciales tienen y usan principalmente, la banda de 4/6 y 12/14 GHz. Estas frecuencias algunas veces son referidas como la banda C y Ku. En el caso de banda C, también son usadas en tierra para transmisiones en microondas, las frecuencias centrales usadas en esta banda es 6.175/3.95 GHz.

3.1 Efectos de Propagación

Cuando una señal de información es transmitida en un enlace vía satélite, ésta queda sujeta a varios factores que degradan la calidad y/o contenido de la señal original. Entre otros, los principales efectos que influyen el desempeño de la comunicación son provocados por las condiciones atmosféricas que rodean el sistema. El efecto dominante en frecuencias arriba de 4 GHz es la atenuación debida a la lluvia.

3.1.1 Atenuación

El mayor obstáculo encontrado en el diseño de sistemas de comunicación vía satélite a frecuencias arriba de 10 GHz es la atenuación por lluvia. Aunque con la tecnología actual en cuanto a técnicas de acceso y calidad de equipo se refiere, es insuficiente para contrarrestar la atenuación tan grande producida por la lluvia. Sin embargo, este tipo de atenuación no es tan significativo en la banda de 6/4 GHz.

Otros elementos climatológicos que influyen en la misma magnitud son: nieve, granizo, neblina, vapor de agua, oxígeno molecular, nubes y electrones libres en la atmósfera.

Los efectos de la atenuación son función de dos factores principalmente: dispersión y absorción atmosférica. Cuando hablamos de atenuación de la señal, nos referimos intrínsecamente a una atenuación en potencia.

Por dispersión entenderemos el proceso de re-radiación de energía de la OEM (Onda Electro Magnética). La absorción atmosférica se manifiesta generalmente como una conversión de la energía eléctrica de la OEM en térmica.

En general definimos:

Atenuación = Dispersión + Absorción = Extinción

$$\alpha = \alpha_d = \alpha_a$$

La cantidad de atenuación de un sistema se obtiene en gráficas previamente diseñadas (frecuencia vs. Absorción dB). El ángulo de elevación de la antena terrestre juega también un papel importante en la atenuación, siendo menor cuando tiende a la vertical.

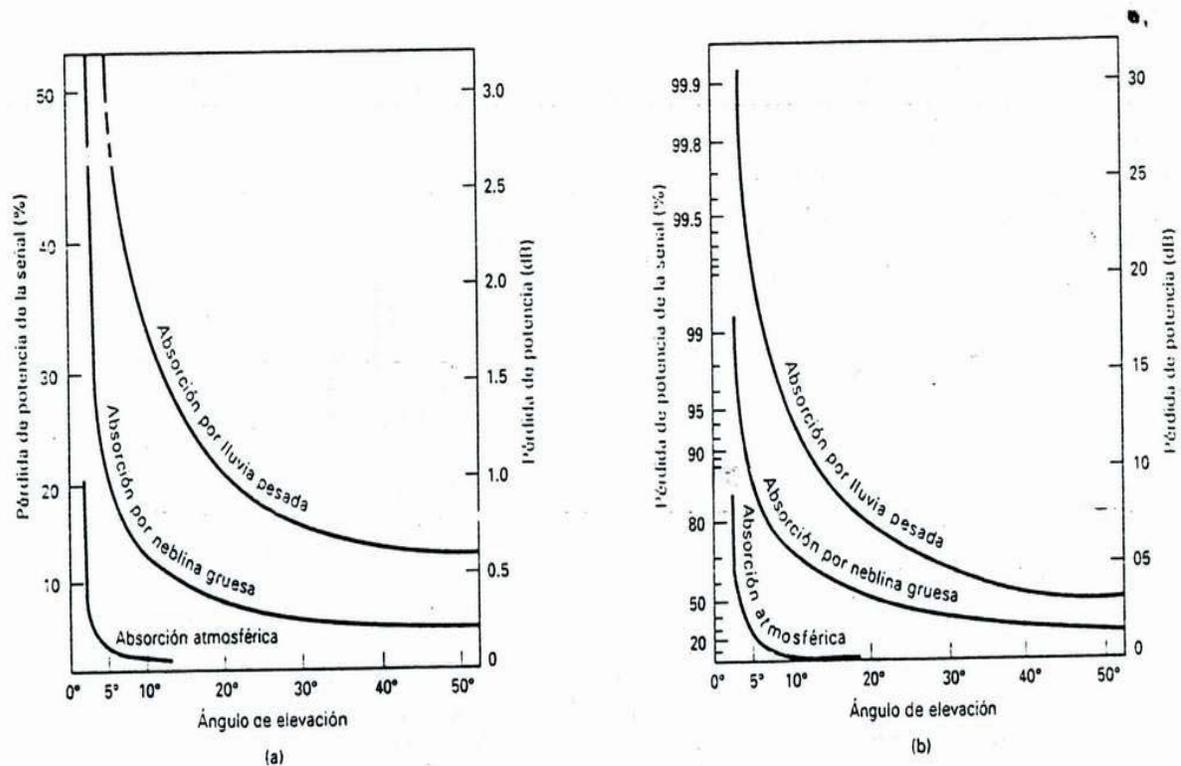


Fig. III.1 Atenuación debido al ángulo de elevación

3.1.2 Atenuación por Dispersión (pérdidas en el espacio libre)

La atenuación por dispersión es comúnmente llamada pérdida de trayectoria de espacio libre es la más importante, y se define como la pérdida incurrida por una onda electromagnética conforme se propaga en una línea recta a través de un vacío sin ninguna absorción o reflexión de energía de los objetos cercanos. Si una antena transmisora emite una señal con cierta potencia, esta señal se distribuirá sobre un área muy grande, resultando que en la antena receptora llegará una señal, con una fracción de la potencia emitida ya que la atenuación de la señal varía inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.

La expresión para la pérdida de trayectoria de espacio libre se da como

$$L_p = (4\pi D / \lambda)^2 = (4\pi f D / c)^2$$

Donde:

L_p = Pérdida de trayectoria de espacio libre

D = Distancia

f = Frecuencia

λ = Longitud de onda

c = Velocidad de la luz en el espacio libre (3×10^8 m/s)

Convirtiendo a dB da:

$$L_p(\text{dB}) = 20 \log (4\pi f D / c) = 20 \log 4\pi / c + 20 \log f + 20 \log D$$

Cuando la frecuencia se da en MHz y la distancia en km,

$$L_p(\text{dB}) = 20 \log 4\pi \frac{(10)^6 (10)^3}{3 \times 10^8} + 20 \log (\text{MHz}) + 20 \log (\text{km})$$

$$L_p(\text{dB}) = 32.4 + 20 \log f (\text{MHz}) + 20 \log D (\text{km})$$

Cuando la frecuencia se da en GHz y la distancia en km

$$L_p(\text{dB}) = 20 \log 4\pi \frac{(10)^9 (10)^3}{3 \times 10^8} + 20 \log (\text{GHz}) + 20 \log (\text{km})$$

$$L_p(\text{dB}) = 92.4 + 20 \log f (\text{MHz}) + 20 \log D (\text{km})$$

La atenuación debida al espacio libre puede ser vista como la potencia perdida por la expansión en todas direcciones del frente de onda radiado desde la antena.

Para efecto de cálculos, éste parámetro puede adoptar varias configuraciones, y su aplicación dependerá esencialmente de la factibilidad de cubrir los datos de solución.

Las ecuaciones anteriores se cumplen cuando la E/T se localiza sobre el ecuador (ángulo de elevación de 90°). Para ángulos de elevación menores de 90°, la pérdida en el espacio libre se incrementa de la siguiente manera:

Angulo de elevación	Incremento Ls (dB)
90°	0
45°	0.44
0°	1.33

3.1.3 Atenuación 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 atenuación en la propagación de las señales.

La atenuación debida a la absorción atmosférica es causada básicamente por seis factores, cada uno de los cuales se ha estudiado estadísticamente y se han graficado los resultados para cada uno de ellos en particular, graficando atenuación contra frecuencia, ya que las atenuaciones que veremos a continuación se comportan diferentemente para cada frecuencia. Los seis factores son los siguientes y se vera cada uno de ellos independientemente.

- Atenuación debida al oxígeno molecular
- Atenuación debida al vapor de agua sin condensar
- Atenuación debida a la lluvia
- Atenuación debida a la niebla y las nubes
- Atenuación debida a la nieve y granizo
- Atenuación debida a los elementos libres en la atmósfera.

Los dos primeros factores son relativamente constante, siendo los otros cuatro variables de acuerdo a el clima y las condiciones atmosféricas. La atenuación por absorción es grande para ángulos pequeños de elevación, por que el radio del haz tiene que atravesar una mayor distancia y más capas atmosféricas, incrementándose más la atenuación.

3.1.3.1 Atenuación debida al oxígeno molecular

La troposfera es la región de la atmósfera en contacto con la superficie de la tierra. Su límite superior (tropopausa) se sitúa a una altura de aproximadamente 17 km en el Ecuador y a 6 km en los polos.

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 dispersión de las ondas. La atenuación por absorción se debe principalmente a la presencia de oxígeno molecular. Para saber que atenuación nos ofrece los componentes gaseosos de la atmósfera, se han hecho estudios estadísticos para determinarla.

3.1.3.2 Atenuación debida 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. La atenuación es causada por el cambio en el radio de las moléculas en sus niveles de energía al rotar y por el efecto de resonancia que ocurre a estas frecuencias entre las moléculas adyacentes y la energía electromagnética que lleva nuestra señal.

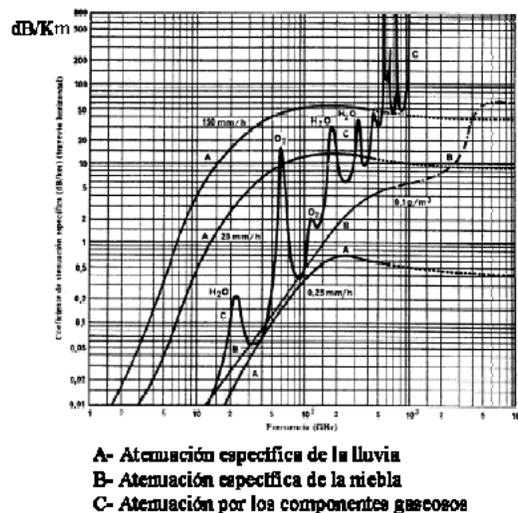


Fig. III. 2 Atenuación causada por lluvia, niebla y componentes gaseosos

3.1.3.3 Atenuación debida a los átomos libres

La atenuación causada por los electrones libres ha sido motivo de muchos estudios, ya que afecta a las señales eléctricas en un enlace de comunicación. 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. La densidad de los electrones de la ionosfera es reducida gradualmente durante ciertas horas del día y afecta principalmente a las comunicaciones que utilizan frecuencias de radiación que están por debajo de los 100 MHz.

La ionización atmosférica es creada por los electrones libres y es muy baja al nivel de la superficie de la tierra y esto resulta apreciable a unos 50 km de altura, tras lo cual se acrecienta hasta un máximo y luego empieza a decaer, desapareciendo totalmente mas allá de los límites externos de la atmósfera. Por razones vinculadas con el desarrollo histórico de la investigación ionosférica, la ionosfera se divide en tres regiones (o capas), designadas respectivamente D, E y F, en orden creciente de altura.

En ciertas condiciones, esas capas pueden subdividirse siendo un ejemplo de ello las capas F1 y F2. Desde el punto de vista de la propagación de las ondas decamétricas, las capas E y F actúan principalmente como reflectores de las ondas radio eléctricas y permiten la propagación a gran distancia entre terminales terrenas. La región D actúa primordialmente como un absorbente, provocando la atenuación de la señal en la banda de ondas decamétricas, si bien las ondas mini amétricas y hectokilométricas se reflejan a la altura de la región D, la transición entre las reflexiones a la altura de la región D y a la altura de la región E, se produce en la gama de ondas hectométricas. La ionosfera es también un factor importante de la comunicación espacial en la banda de ondas métricas.

Una onda transmitida con incidencia vertical penetra en la ionosfera a la altura en que el índice de refracción es igual a cero. Se trata de la altura a la cual la frecuencia del plasma es igual a la frecuencia de la onda utilizada. Si aumenta la frecuencia de la onda utilizada, la reflexión se producirá a una altura mayor, hasta que alcanza la densidad electromagnética máxima. La frecuencia máxima que se refleja en esa capa ionizada se denomina frecuencia crítica de esa capa. Dicha capa no reflejará una onda de frecuencias superior, sino que resultará transparente a la misma. La densidad electrónica máxima de cada capa de la ionosfera aumenta con la altura de esta. Al mismo tiempo disminuye el número de moléculas y, por consiguiente el número de colisiones.

Como la ionización de las capas ionosféricas es producida por la radiación solar, cuyo componente más activo son los rayos ultravioleta, todas las características

ionosféricas varían en el curso del día y según la estación. La intensidad de la radiación ionizante del Sol cambia además, a lo largo del ciclo de la actividad solar de 11 años. A esas variaciones en el tiempo es necesario añadir las variaciones correspondientes a la latitud y a la longitud de la estación receptora o transmisora.

En el rango de frecuencias que se utilizan para el enlace mediante satélites, la atenuación producida por los electrones libres se ha graficado junto con la atenuación producida por oxígeno molecular vapor sin condensar, para distintos ángulos de elevación de la antena. Como se observa en la gráfica III.4 , esta atenuación solo es significativa arriba de los 10 GHz.

3.1.3.4 Atenuación causada por lluvia

Las atenuaciones discutidas anteriormente, son relativamente constantes y predecibles. Las atenuaciones causadas por la lluvia y a la niebla varían grandemente. A las frecuencias que están por debajo de los 10 GHz, se ven muy poco afectadas. La lluvia 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. La absorción por el líquido no debe confundirse con la absorción del vapor de agua.

Por otra parte, la atenuación por lluvia es mayor en polarización horizontal que en la polarización vertical. Este dato es de interés a considerar en los diseños de enlace. Así, es posible aminorar los efectos de atenuación con una antena de buena discriminación de polarización (significa que la antena tenga capacidad para discriminar una polaridad de otra min. 30 dB). En general, para mayor radio de la gota, la absorción de la señal predominará; caso contrario, predomina la dispersión.

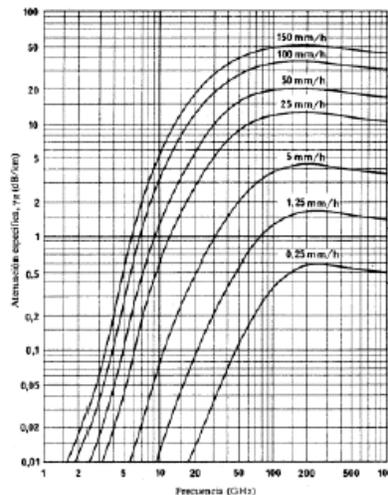


Fig. III.3 Atenuación por lluvia

La confiabilidad del sistema de satélite depende en gran parte de las condiciones atmosféricas. Por esta razón, es necesario llevar a cabo un estudio climatológico predictivo.

La lluvia también presenta efectos sobre la antena al degradar el rendimiento de ésta. Un análisis de la caída de lluvia sobre una cubierta hemisférica (antena), muestra que se forma una capa de agua de espesor constante sobre la cubierta. Una onda electromagnética que incide sobre una capa de agua experimenta tanto pérdidas de absorción como de reflexión. Por ejemplo a 11 GHz se introduce una atenuación de 12 dB para una capa de agua de 0.5mm de espesor. Por tanto, si capas de ese espesor se forman por la caída de lluvia en una cubierta, se encuentra otra atenuación sumada a la atenuación de la trayectoria de propagación. Si no se coloca la cubierta en la antena, se introduce en mayor cantidad la atenuación por capas de lluvia en la superficie reflectora.

3.1.3.5 Atenuación causada por la niebla y las nubes

La atenuación causada por la niebla y las nubes es mayor que la causada por lluvia, debido a que la distribución de las moléculas del agua se hayan mas 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 a 10 GHz.

3.1.3.6 Atenuación causada por nieve y granizo

Este tipo de atenuación es muy parecido al provocado por la lluvia, e inclusive se puede considerar igual con respecto a la provocada por lluvia. Cuando se está en una zona en donde cae mucha nieve o granizo, se tomarán los niveles de atenuación que se tiene en las gráficas para la atenuación por lluvia.

3.1.4 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 anteriores descritos, sin embargo, es importante no olvidar que existe y se debemos tomar en cuenta cuando la señal a tratar es muy débil.

3.2 Ruido

Tanto en los sistemas de comunicación vía satélite como en otros sistemas terrestres, siempre están presentes señales indeseadas. Estas señales, denominadas ruido, son casi imposibles de eliminar, pero en la actualidad existen técnicas que lo minimizan considerablemente.

3.2.1 Temperatura de ruido

La potencia de ruido es usualmente cuantificada en términos de su temperatura de ruido. Si el equipo electrónico estuviera perfectamente aislado de interferencias externas, de todos modos existiría ruido presente en dicho equipo, debido al movimiento aleatorio de los electrones en los componentes. Esto se llama ruido térmico.

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

$$P_N = KTB \text{ (Watts)}$$

Donde

P_N = Potencia del ruido

K = Constante de Boltzman (1.3×10^{-23} W S/ °K)

T = Temperatura en °K

B = Ancho de banda en Hz

Si el ruido térmico afectara únicamente a la forma de la señal, entonces la máxima cantidad de información que la portadora puede llevar es:

$$C = B \log (P_R/P_N + 1)$$

Donde:

PR = Potencia de la portadora recibida

C = Capacidad de información

Hay muchos factores que nos generan otras formas de ruido, pero es conveniente referirnos a ella con la misma ecuación, de este modo la temperatura imaginaria se usa y es llamada temperatura de ruido.

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

$$T = P_n / KB$$

La temperatura de ruido T del equipo receptor se origina tanto por la estructura de la antena como por la electrónica asociada. Las primeras estaciones terrenas usaron preamplificadores enfriados para reducir la temperatura de ruido. Actualmente, con satélite más potentes, se puede usar equipo receptor más económico, teniendo una antena más pequeña con una temperatura de ruido menor.

Las componentes de ruido del sistema incluido en T pueden dividirse en:

Ruido de Antena

Ruido de componente pasiva

Ruido de Escape (HPA)

Ruido de Etapas de Amplificación

El ruido de antena mínimo ocurre cuando la antena apunta hacia el zenith (ángulo de 90° de elevación). El desbordamiento de antena se refiere a la energía radiada de la antena al suelo y dispersada por los elementos metálicos que sostienen los dispositivos de alimentación. La suma total del ruido de antena puede alcanzar 39 o $40^\circ K$, 25 de los cuales es ruido de cielo.

Para calcular la temperatura de ruido del sistema (T_{sis}) de los diversos elementos se hace uso de la cadena receptora como sigue:

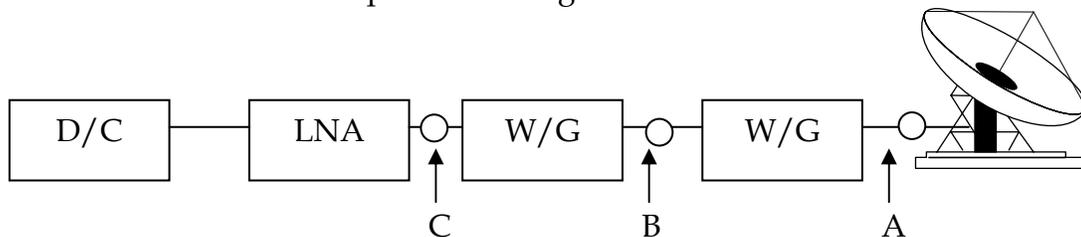


Fig. III.4 Modelo cadena receptora

Donde A, B y C son puntos de referencia o planos de referencia. A es la base del punto radiador, B es la base del pedestal de la antena y C es la entrada al amplificador de bajo ruido (LNA).

Para calcular la temperatura del ruido del sistema T_{sis} , se afirma que:

$$T_{sis} = T_{ant} + T_r$$

Donde:

T_{ant} = Temperatura de ruido de la antena

T_r = Temperatura de ruido del sistema receptor

Lo primero es establecer un punto de referencia. En este punto arbitrario se calcula la ganancia de la antena G así como su temperatura de ruido T_{ant} . La T_{sis} varía conforme G varíe, dependiendo del punto de referencia. Encontraremos que conforme el punto de referencia se mueva del alimentador de la antena, la ganancia disminuirá y así también la temperatura de ruido. Sin embargo, la relación G/T para un sistema dado se mantendrá constante, sin importar la posición del punto de referencia. Las contribuciones de ruido a la izquierda del punto de referencia están incluidas en la temperatura de la antena T_{ant} y siempre incluyen el ruido de cielo. A la derecha del punto de referencia (hacia el sistema) todas las contribuciones de ruido se incluyen en T_r .

Para diferenciar entre pérdidas óhmicas y no-óhmicas, se considera que los dispositivos con una pérdida de inserción están en la categoría óhmica, y las no asociadas con un pérdida de inserción son no-óhmicas (por ejemplo el espacio libre).

Al calcular la contribución de ruido de una pérdida óhmica, dada en dB, es necesario convertir el dB a su relación numérica equivalente.

$$\text{Perdidas (dB)} = 10 \log P_1/P_2$$

$$\text{Sea } L = P_1/P_2$$

$$\text{Pérdidas (relación)} = \log^{-1} (L/10)$$

Como ejemplo, supongamos que el punto de referencia fuera el punto B, con una pérdida de cubierta de 1 dB y las pérdidas por guía de onda a la base del pedestal fueran de 1.3 dB. Su relación de pérdidas sería:

$$\text{Pérdidas (relación)} = 1.698$$

Asumiendo que L_t sean las pérdidas totales de la red de la antena, incluyendo la cubierta, expresada como relación de pérdidas, tenemos:

$$T_{ant} = \frac{(L_t - 1)(T_{amb} + T_c)}{L_t}$$

Donde:

T_{amb} = Temperatura ambiente

T_c = Temperatura de ruido de cielo

La temperatura de ruido del receptor T_r es el ruido total recibido que se obtiene al referirnos a los efectos de la contribución de los componentes activos, y las pérdidas del circuito de entrada al mismo punto de referencia, es decir, las contribuciones de ruido a la derecha del punto de referencia.

La temperatura de ruido del receptor T_r se calcula en cascada como sigue:

$$T_r = T_1 + \frac{T_2}{G_1} + \frac{T_3}{G_1 G_2} + \frac{T_4}{G_1 G_2 G_3} + \dots + \frac{T_n}{G_1 \dots G_{n-1}}$$

Donde:

T_n = Temperatura de ruido del contribuyente n

G_n = Ganancia del contribuyente n

3.2.2 Fuentes externas de ruido

Las siguientes son fuentes externas de ruido: el Sol, la Luna, la Tierra, ruido galáctico, ruido cósmico, ruido de cielo, ruido atmosférico y ruido hecho por el hombre. Estas fuentes difieren su intensidad, frecuencia y localización en el espacio.

Si la antena de un satélite apunta hacia el Sol, la señal será prácticamente contaminada debido a la temperatura de ruido de Sol que es de 100 000 °K o mayor. En general, el ruido de Sol varía con la actividad solar.

La temperatura del ruido de cielo es aproximadamente 30 °K. La directividad de una antena no sólo es para enfocar el haz, sino también para proteger la señal recibida de otras fuentes de ruido.

La temperatura de ruido de la Tierra, vista desde el espacio, es de 254 °K (promedio). Una antena de satélite con ancho de haz igual al ancho de proyectado por la Tierra recibiría esta cantidad de ruido, como fondo a las señales que vienen desde la Tierra. El ruido recibido en el satélite dominante es la temperatura de ruido de la Tierra.

El ruido galáctico se refiere al ruido de las estrellas en la galaxia. Este ruido decrece rápidamente a altas frecuencias y tiene efectos despreciables arriba de 1 GHz. El ruido cósmico se refiere a otro ruido del espacio exterior y también es despreciable arriba de 1 GHz.

Los destellos de luz y las descargas electrostáticas en la atmósfera sólo son considerables por debajo de 30 MHz.

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

El ruido hecho por el hombre, el cual afecta mucho a frecuencias bajas, tiene efecto insignificante en frecuencias encima de 1 GHz. Surge principalmente de la maquinaria eléctrica, siendo mayor en áreas industriales. Si estuviese presente podría reducirse al cubrirse la antena.

3.2.3 Otras fuentes de ruido

La antena receptora recoge también el ruido no térmico debido a emisiones no esenciales. Esas pueden proceder de otros sistemas que funcionan en las mismas bandas de frecuencias, en cuyo caso es difícil predecirlas y por ende tenerlas en cuenta en el balance de enlace, excepto asignando un margen en los objetivos de calidad adoptados.

Las emisiones pueden venir también de los mismos sistemas de satélite en forma de interferencia debida a transmisiones en canales adyacentes o a productos de intermodulación de transmisiones con polarización ortogonal causadas por las no linealidades de los equipos y por la interferencia debida a la propagación por trayectos múltiples en la carga útil.

La interferencia debida a la propagación por trayectos múltiples puede tenerse en cuenta en los márgenes que se asignan al establecer los objetivos de calidad. Se tiene en cuenta el ruido de intermodulación debido al funcionamiento con múltiples portadoras del amplificador de potencia del satélite, tanto en el balance del enlace como en el diseño del sistema cuando se establece el punto de funcionamiento del amplificador.

La interferencia debida a la transmisión en el canal adyacente o en el cocanal con la polarización ortogonal puede tenerse en cuenta calculando el aumento del ruido recibido en el extremo del enlace o asignando un mayor margen al fijar los objetivos de calidad.

3.3 Figura de Merito (G/T)

Normalmente se acostumbra calificar la calidad de un sistema no mediante su ganancia, sino como una relación llamada figura de merito que representa la relación de la ganancia del sistema a la temperatura de ruido del mismo. La G/T es una de las características más importantes de una estación terrena y de un satélite. 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 ésta, introduzca la mínima cantidad de ruido como sea posible, por lo que se acostumbra que en la antena se coloque el preamplificador de bajo ruido.

Debido a las potencias extremadamente pequeñas de la portadora de recepción que normalmente se experimentan con los sistemas satelitales, frecuentemente el LNA está físicamente situado en el punto de alimentación de la antena. Cuando es éste el caso, G/Te es una relación de la ganancia de la antena receptora más la ganancia del LNA, a la temperatura de ruido equivalente. Matemáticamente, la relación de ganancia a temperatura de ruido equivalente es:

$$G/Te = Ar + A(LNA)/ Te$$

Expresado en logaritmos tenemos:

$$G/Te \text{ [db/°K]} = Ar \text{ (dB)} + A(LNA)(\text{dB}) - Te \text{ (dBK)}$$

Donde:

Ar = Ganancia de antena receptora

A(LNA) = Ganancia del LNA

Te = Temperatura de ruido equivalente

G/T es un parámetro muy útil para determinar las relaciones Eb/No y C/N, en el transponder del satélite y receptores de la estación terrena. G/T es esencialmente el único parámetro requerido en un satélite o un receptor de estación terrena, cuando se completa un cálculo de enlace.

3.3.1 Eficiencia de la antena parabólica

En un reflector parabólico, el reflejo de la superficie del plato no es perfecto, por tanto, una pequeña porción de la señal irradiada desde el mecanismo de alimentación se absorbe en la superficie del plato. Además, la energía cerca de la orilla del plato no se refleja sino más bien se deflejará del otro lado de la orilla del plato. Esto se llama derrame o fuga. Debido a imperfecciones dimensionales, sólo de 50% a 75% aproximadamente de la energía emitida desde el mecanismo de la alimentación refleja la parabólica. Además, en una antena real el mecanismo de alimentación no es una fuente puntual; ocupa un área finita enfrente del reflector y en realidad tapa una pequeña área en el centro del plato y causa un área sombreada enfrente de la antena que es incapaz de recoger o enfocar la energía. Estas imperfecciones contribuyen a una eficiencia típica para una antena parabólica de sólo aproximadamente 55% ($\eta = 0.55$). O sea, sólo 55% de la energía irradiada por el mecanismo de alimentación en realidad se propaga hacia delante en un haz concentrado.

La ganancia de potencia de una antena parabólica es aproximadamente de:

$$A_p = \eta (\pi D / \lambda)^2$$

Donde

A_p = ganancia de potencia con relación a una antena isotrópica

D = diámetro del reflector parabólico (metros)

η = Eficiencia de la antena (potencia radiada por la antena relativa a la potencia irradiada por el mecanismo de alimentación)

λ = longitud de onda (metros/ciclo)

y, para una eficiencia típica de la antena de 55% ($\eta=0.55$), tenemos:

$$A_p = \eta \pi^2 \left(\frac{D^2 f^2}{C^2} \right) = \frac{5.4 D^2 f^2}{C^2}$$

Donde c = velocidad de propagación (3×10^8 metros /segundo)

En forma de decibeles:

$$A_{p(\text{dB})} = 20 \log f \text{ (MHz)} + 20 \log D \text{ (metros)} - 42.2$$

Donde

$A_{p(\text{dB})}$ = ganancia de potencia con relación a una antena isotrópica

D = diámetro del reflector parabólico (metros)

F= frecuencia (MHz)

42.2 = constante (dB)

De estas ecuaciones, observamos que la ganancia de potencia de una antena parabólica es proporcionalmente inversa a la longitud de onda al cuadrado. En consecuencia, el área (tamaño) del plato es un factor importante al diseñar las antenas parabólicas. Con frecuencia, el área del reflector en sí se da en longitudes de onda al cuadrado (a veces llamada el área eléctrica o efectiva del reflector). Entre más grande sea el área, más grande es la relación del área a una longitud de onda, y más alta es la ganancia de potencia.

Para una antena parabólica receptora, la superficie del reflector nuevamente no está completamente iluminada, reduciendo efectivamente el área de la antena. En una antena parabólica receptora, el área efectiva se llama área de captura y siempre es menos que la verdadera área del plato.

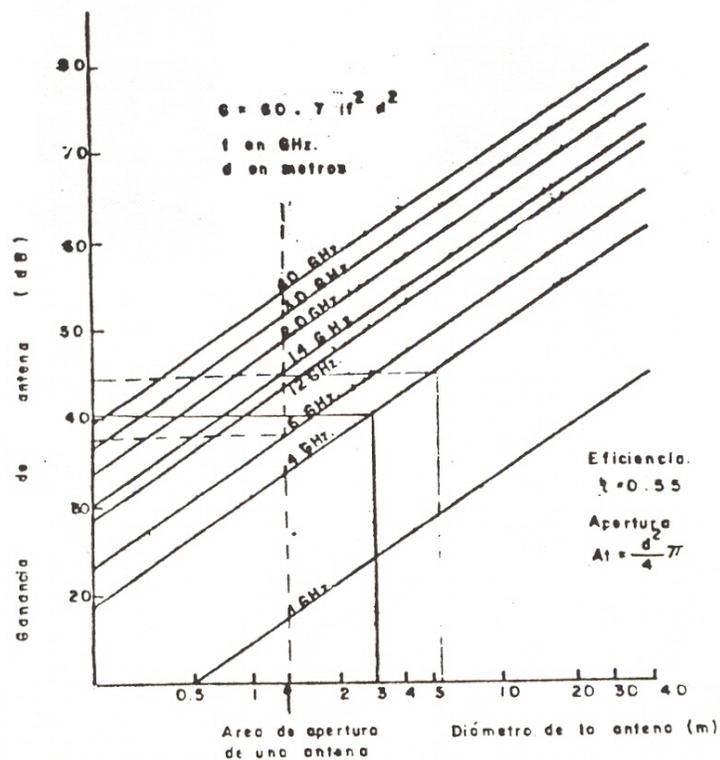


Fig. III. 5 Ganancia de la antena

3.3.2 Diagramas de radiación y anchuras de haz

Las propiedades direccionales de una antena pueden representarse por su "diagrama de radiación". La anchura de haz a potencia media (-3 dB) viene dada por la importante fórmula siguiente:

$$\theta^{\circ} = k (\lambda/D)$$

En donde k depende de la "ley de iluminación" de la abertura. Para las antenas de estación terrena de eficacia elevada con una iluminación uniforme, $k \approx 65^{\circ}$.

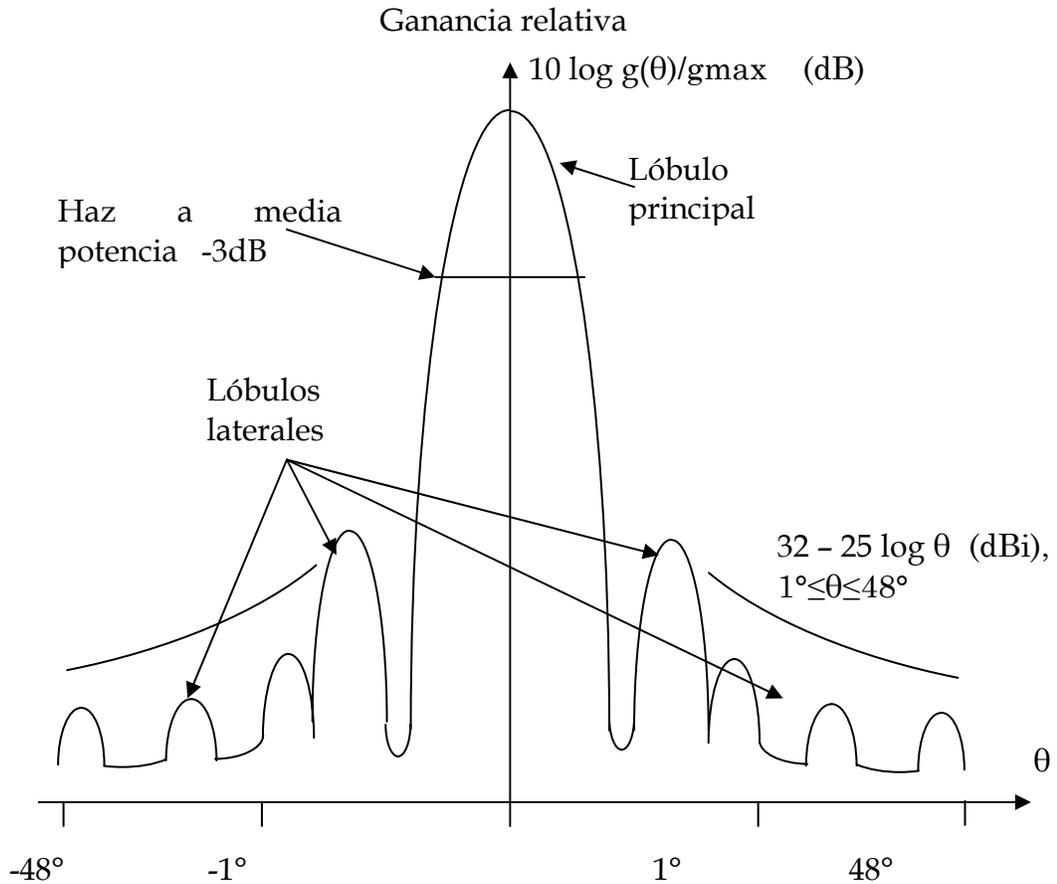


Fig. III.6 Patrón de radiación de una antena parabólica

La mayor parte de la potencia radiada por una antena está contenida en el denominado "lóbulo principal" del diagrama de radiación.

No obstante, parte de la potencia residual se radia por los "lóbulos laterales". A su vez, las ganancias y los diagramas de radiación de la antena receptora son idénticos a las ganancias y a los diagramas de radiación de la antena transmisora (a la misma frecuencia). Por lo tanto, la potencia no deseada puede captarse también en la recepción por los lóbulos laterales de la antena.

Los lóbulos laterales son una propiedad intrínseca de la radiación de la antena y no pueden suprimirse del todo. No obstante, los lóbulos laterales se deben también parcialmente a los defectos de la antena, que pueden minimizarse mediante un diseño adecuado. La CCIR en su volumen IV hace referencia al diagrama de radiación en la recomendación 465-1 para antenas grandes que tengan 100 longitudes de onda en su diámetro, como una norma para el cálculo de ésta.

De acuerdo a investigaciones estadísticas sobre muchas antenas, indican que el nivel de los lóbulos laterales, no deben de exceder en un 10% el nivel de lóbulo principal.

3.3.3 Polarización

La polarización de una onda de RF radiada (o recibida) por una antena se define por la orientación del vector eléctrico E de la onda.

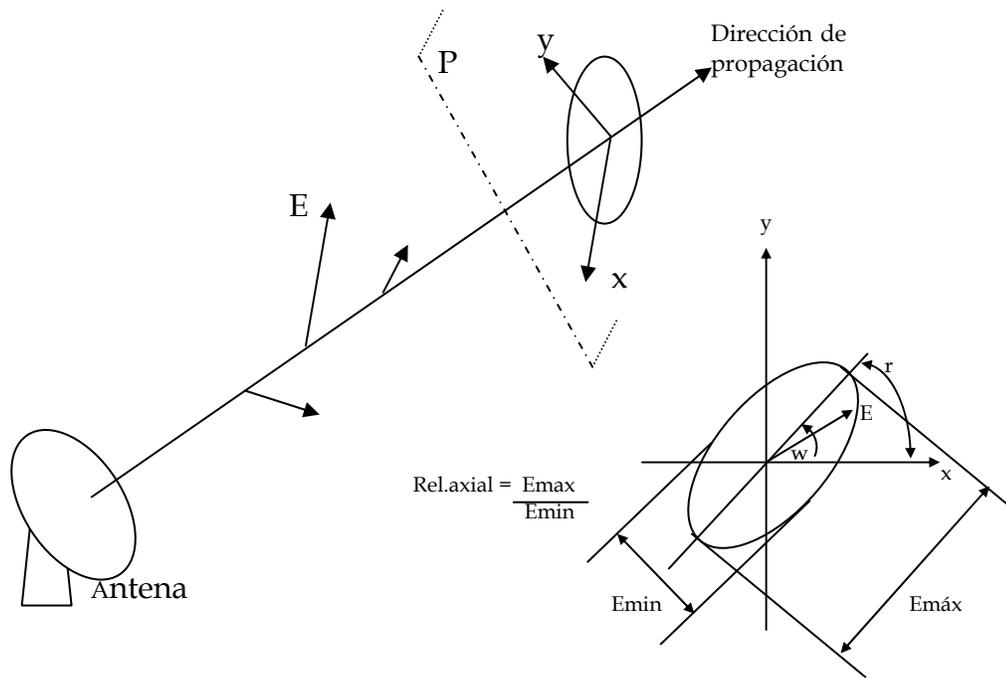


Fig. III. 7 Definición de la polarización de una onda electromagnética

La mayoría de las antenas practicas radian con polarización lineal (PL) o con polarización circular (PC), que son casos particulares de polarización elíptica.

La polarización lineal se obtiene cuando la relación axial es infinita (la elipse es completamente plana, esto es, el vector E oscila únicamente en intensidad). La polarización circular se obtiene cuando RA=1.

Para cualquier polarización elíptica puede definirse una polarización ortogonal que tiene sentido inverso de rotación. Puede observarse que dos ondas de polarización ortogonalmente tienen (teóricamente) un aislamiento perfecto. Esto significa que una antena puede estar equipada con dos accesos de recepción (o de transmisión), adaptado cada uno perfectamente a una sola polarización.

Si, por ejemplo una onda con una determinada polarización incide sobre la antena, se recibirá toda la potencia en el acceso para el que se acopla la señal y ninguna en el otro acceso. Por lo tanto, la misma antena puede recibir (transmitir) simultáneamente dos portadoras con dos polarizaciones ortogonales en la misma frecuencia: ésta es la base de la reutilización de frecuencias por polarización ortogonal. Los dos ejemplos más comunes son las polarizaciones lineales ortogonales (por ejemplo, horizontal y vertical) y las circulares ortogonales (circular derecha y circular izquierda).

Cabe observar que una onda electromagnética polarizada elípticamente puede considerarse como la suma de dos componentes ortogonales, por ejemplo, de dos ondas con polarizaciones lineales perpendiculares o de una onda con polarización circular derecha y otra con polarización circular izquierda.

Una característica importante del diagrama de radiación de una antena especialmente cuando se instala en un sistema con reutilización de frecuencias por polarización ortogonal es, la pureza de la polarización. Por ejemplo, si una onda con polarización lineal vertical se recibe en una antena imperfecta, parte de la potencia (deseada) se perderá en el acceso de la polarización vertical (debido a su desadaptación) y se recibirá alguna potencia (no deseada) en el acceso de la polarización lineal horizontal, causando con ello interferencia. La onda de RF radiada por cualquier antena (imperfecta) tiene una componente que se denomina de la misma polarización (componente deseada) y una de polarización cruzada, es decir una componente no deseada. Por lo tanto, la radiación de una antena en cualquier dirección puede describirse (en transmisión y también en recepción) por una diagrama de radiación copolar y por un diagrama de radiación de polarización cruzada (que debe minimizarse mediante un diseño adecuado).

3.4 Relación Portadora a Ruido (C/N)

Una relación frecuentemente utilizada para establecer la calidad de un enlace por satélite es:

$$\frac{\text{Potencia de la Portadora Recibida}}{\text{Densidad de Ruido}} = \frac{P_r}{kT} = \frac{C}{N}$$

La potencia de la portadora se simboliza frecuentemente con la letra C (Carrier). La relación anterior es llamada relación portadora a ruido. Dicha relación no puede ser mejorada hasta algún cierto nivel debido a que se alcanza una saturación en el canal.

La calidad de transmisión del enlace radioeléctrico esta 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 portadora 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 amplificada para compensar esta atenuación, pero la atenuación en sí misma no es una medida efectiva del enlace. Lo que más afecta a la capacidad de información que puede llevar la portadora, es la relación señal a ruido. La ecuación fundamental en telecomunicaciones, es la ecuación de la ley de Shannon, la cual nos relaciona la capacidad de información en la portadora a la relación señal a ruido:

$$C = B \log (S/N + 1)$$

Donde:

C = Cantidad de información en bits por segundo

B = Ancho de banda utilizado en el enlace

S/N = Potencia del ruido presente en la señal recibida (razón)

El ancho de banda B, que es usado en el enlace, debe ser fijo para la frecuencia que se utilice. Para el uso eficiente del ancho de banda disponible, la relación señal a ruido no debe ser muy pequeña ya que si es muy pequeña se confunde la

señal recibida con el ruido que trae ésta. La relación señal a ruido, también está muy relacionado con la Potencia Isotrópica Radiada Equivalente, principalmente, en el enlace entre la estación terrena y el satélite, esta relación no puede crecer indefinidamente, porque si esta crece, entonces se origina una saturación del canal de comunicación. En el enlace entre el satélite y la estación terrena, esta relación es menos importante pero es más fácil de tratar.

En un enlace vía satélite, la relación portadora a ruido (C/N) es función de 3 relaciones a saber: C/N de subida (C/Ns), C/N de bajada (C/Nb) y C/N de intermodulación (C/Ni). Estas se relacionan por:

$$C/N = \frac{1}{\frac{1}{C/N_s} + \frac{1}{C/N_b} + \frac{1}{C/N_i} + \frac{1}{C/N_f}}$$

Esta relación total, cuando se trata de transmisión digital, a su vez es función de la energía por bit sobre densidad de ruido Eb/No de acuerdo a la expresión:

$$C/N = E_b/N_o \cdot v/W$$

Donde:

v = velocidad de Transmisión (bps)

W = Es el ancho de banda del canal (Hz)

El término densidad de ruido se refiere al ruido presente por unidad de hertz

$$\text{Densidad de ruido} = P_r/B = kT$$

Al diseñar un enlace por satélite, la relación entre el nivel de potencia de la portadora y el nivel de potencia del ruido, es uno de los parámetros fundamentales.

Estas relaciones se expresan en dB y cada una de las cuatro relaciones se calcula como sigue:

$$C/N_s = \text{PIRE} - L_s - \alpha + (G/T)_s - 10 \log K$$

$$C/N_s = W_s - 10 \log (4\pi/\lambda^2) - B.O.I + (G/T)_s - 10 \log K$$

Para una sola portadora y múltiples portadoras respectivamente, donde:

C/N_s = Rel. portadora-ruido ascendente o de subida (dB)

PIRE = Potencia de la estación terrestre (dBW)

L_s = Pérdida en el espacio libre (dB)

α = Atenuación (dB)

$(G/T)_s$ = Figura de mérito del satélite (dB/°K)

K = Constante de Boltzman (-228.6 dB)

W_s = Densidad de flujo de potencia de entrada requerido para saturar un transpondedor del satélite (dato proporcionado por el fabricante de satélite) (dBW/m²)

$10 \log (4\pi/\lambda^2)$ = Ganancia de una antena hipotética con área efectiva de 1 m² para una longitud de onda (dB)

B.O.I = Punto de operación (Back-Off) de entrada del transpondedor del satélite (dato por el fabricante) (dB)

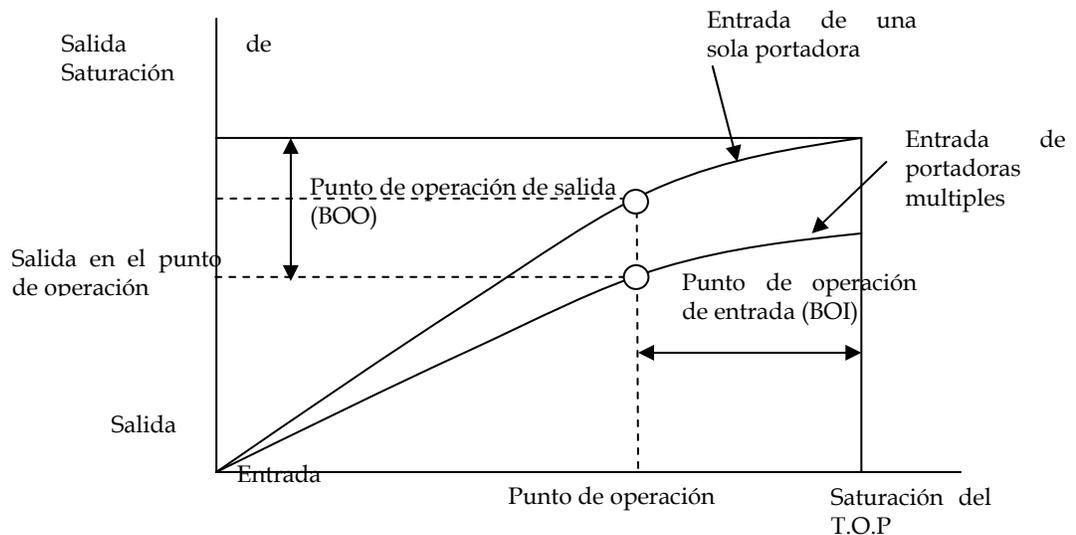


Fig. III.8 Curva características de una amplificador TWT.

$$C/N_b = P_s - L_s - \alpha + (G/T)_e - 10 \log K$$

$$C/N_b = P_{sm} - B.O.O. - L_s - \alpha + (G/T)_e - 10 \log K$$

Para una sola portadora y múltiples portadoras respectivamente, donde:

C/N_b = Rel. portadora-ruido de bajada (dB)

P_s = PIRE del satélite de una sola portadora (dBW)

L_s = Pérdida en el espacio libre (dB)

α = Atenuación (dB)

$(G/T)_e$ = Figura de mérito de estación terrestre (dB/°K)

K = Constante de Boltzman (-228.6 dB)

P_{sm} = PIRE de saturación del satélite para una sola portadora (dBW)

B.O.O = Punto de operación (Back-Off) de salida del transpondedor del satélite (dado por el fabricante) (dB)

Cuando se amplifican portadoras múltiples en un transponder simultáneamente, el producto de intermodulación forma una fuente de ruido. Este es difícil expresarlo en forma general y se utilizan valores experimentales para determinar el ruido por intermodulación. Sin embargo, una buena aproximación es:

$$C/N_i = C_s/N_i + P_s - P_{sm}$$

Donde:

C/N_i = Rel. Portadora ruido de intermodulación

C_s/N_i = Razón de PIRE de saturación de un transponder al ruido de intermodulación por Hz en un punto de operación de la portadora (dB)

P_s = PIRE del satélite para una portadora (dBW)

P_{sm} = PIRE de saturación de un transponder (dBW)

Para la utilización eficiente del espectro de frecuencias, el reuso de frecuencias es posible mediante aislamiento del haz del satélite o por aislamiento de polarización. La interferencia mutua entre portadoras no se puede despreciar. En general la siguiente expresión es válida para calcular la interferencia intra sistemas:

$$\frac{1}{C/N_f} = \frac{1}{C/N_s} + \frac{1}{C/N_{bo}} + \frac{1}{C/N_{xs}} + \frac{1}{C/N_{xb}}$$

Donde:

C/N_f = Rel. portadora ruido de interferencia intra sistema

C/N_s = C/N equivalente debido a la interferencia de subida por cubrimiento en la misma polarización

C/N_{bo} = C/N equivalente debido a la interferencia de bajada por cubrimiento en la misma polarización

C/N_{xs} = C/N equivalente debido a la interferencia de subida por cubrimiento en polarización opuesta

C/N_{xb} = C/N equivalente debido a la interferencia de bajada por cubrimiento en polarización opuesta

La figura III. 9 muestra la relación entre el C/N y los C/Ns individuales. Como se puede apreciar, existen un punto máximo de C/N por debajo del nivel de entrada del TOP (Tubo de Ondas Progresivas, TWT) para saturación.

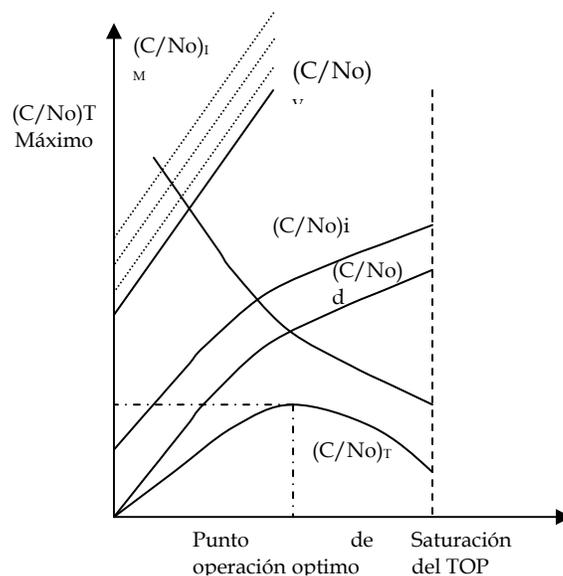


Fig. III.9 Nivel relativo del punto de operación del TOP (dB)

3.5 Margen de Umbral

Cuando la C/N en la entrada del demodulador de FM es suficientemente grande, la S/N a la salida es proporcional a la C/N. Sin embargo, si la C/N disminuye debajo de un cierto nivel, la S/N no mantiene la relación 1:1 y se deteriora rápidamente como se observa en la figura III.10.

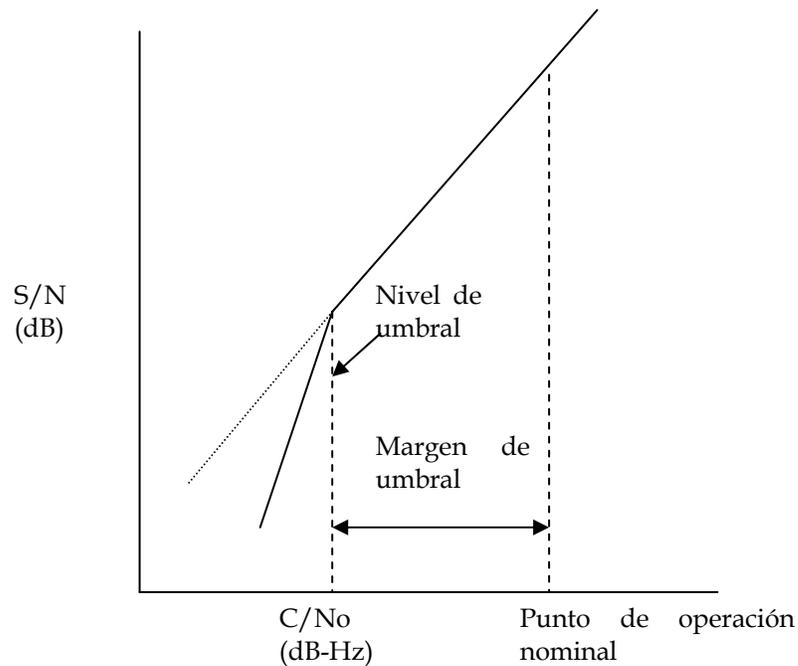


Fig. III.10 Margen de umbral y extensión en sistemas F.M.

Este nivel de entrada se conoce como nivel de umbral; no obstante, en un tipo convencional de demodulador, el fenómeno de umbral ocurre a una C/N de aproximadamente 10 dB, y este nivel puede reducirse varios dB si se emplea un demodulador de extensión de umbral.

En enlaces por satélite, el sistema se opera generalmente a una C/N mayor por varios dB que el nivel de umbral. La diferencia entre C/N del punto de operación nominal y la del nivel de umbral es llamada Margen de Umbral.

3.6 Figura de ruido

Este parámetro es un dato común en el diseño de enlaces y se define como:

$$NF = \frac{N \text{ práctico}}{N \text{ ideal}} = \frac{N \text{ práctico}}{K T_{am} B_r G_s}$$

Donde:

B_r = Ancho de banda del ruido lateral doble del sistema

G_s = Ganancia del sistema

T_{am} = Temperatura de ambiente

Algunos valores típicos de ruido presentes en la estaciones terrenas son:

Tipo de Ruido	Potencia de Ruido pWOp
Ruido de intermodulación debido a amplificadores de alta potencia	500
Ruido de distorsión por retardo de grupo del transmisor	200
Ruido de distorsión por retardo de grupo del receptor	200
Ruido del transmisor que excluye el anterior	250
Ruido del receptor que excluye el anterior	250
Ruido por distorsión del retardo de grupo dentro del satélite	100

Tabla III.1 Valores típicos de ruido

$$N \text{ práctico} = G_s K T_{am} B_r + G_s K T_e B_r = G_s K B_r (T_{am} + T_e)$$

Donde:

$G_s K T_{am} B_r$ = Potencia de ruido de salida suponiendo un receptor ideal sin ruido

$G_s K T_e B_r$ = Potencia de ruido de salida debido al ruido, generado en el receptor con temperatura de ruido equivalente T_e .

3.7 Probabilidad de error y tasa de error de bit

La probabilidad de error (P_e) y la tasa de error de bit (BER), a menudo se utilizan en forma intercambiable, aunque en la práctica sí tienen significados un poco distintos. P_e es una expectativa teórica (matemática) de la tasa de error de bit para un sistema determinado. BER es un registro empírico (histórico) del verdadero rendimiento de error de bit de un sistema. Si un sistema tiene un P_e de 10^{-5} , esto significa que, matemáticamente, puede esperarse que ocurra un error de bit en cada 100,000 bits transmitidos ($1/10^{-5} = 1/100,000$). Si un sistema tiene un BER de 10^{-5} , esto significa que en el pasado hubo un error de bit por cada 100,000 bits transmitidos. Una tasa de error de bit se mide, luego se compara con la probabilidad de error esperada, para evaluar el rendimiento de un sistema.

La relación de la densidad de potencia de energía por bit a ruido se utiliza para comparar dos o más sistemas de modulación digital que utilizan diferentes tasas (velocidades) de transmisión (tasa de bit), esquemas de modulación (FSK, PSK, QAM), o técnicas de codificación (M-ario). La relación de la densidad de potencia de energía por bit a ruido es simplemente la relación de la energía de un solo bit a la potencia de ruido presente en 1 Hz de ancho de banda.

La relación de la potencia de la portadora a ruido mínimo requerido para sistemas QAM, es menor que el requerido para sistemas PSK comparables (fig. III.11). Además, entre más alto sea el nivel de codificación utilizado (más alto es el valor de M), más alta es la relación de la potencia de la portadora a ruido mínimo.

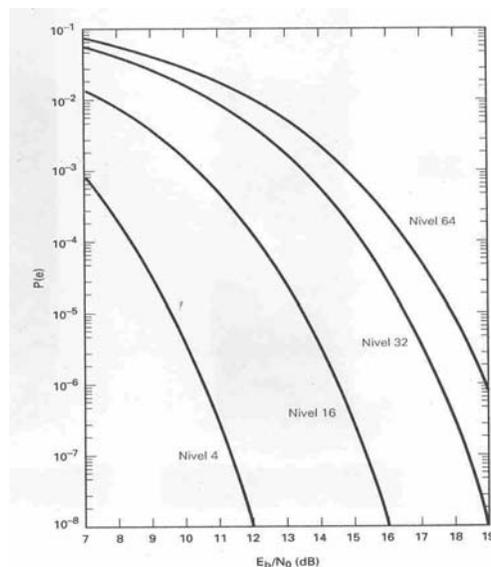


Fig. III.11 Tasas de error para PSK y QAM respectivamente

3.8 Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (P.I.R.E)

La potencia Isotrópica Radiada Equivalente (P.I.R.E.) 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

$$\text{PIRE} = P_t G_t \text{ (watts)}$$

Donde

P_t = Potencia de salida del transmisor

G_t = Ganancia de antena en razón de potencia bajo condiciones de transmisión
Expresadas en decibeles

$$\text{PIRE} = P_t + G_t \text{ (dBW)}$$

Al calcular la PIRE habrá que considerar que la potencia entregada por el sistema de transmisión, es reducida por elementos pasivos como 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 radio frecuencia, inestabilidad de la ganancia de la antena, error de orientación del haz, etc.

3.9 Densidad de Potencia del Satélite

La atenuación debida a la dispersión, puede verse desde la definición de Potencia Isotrópica Radiada Equivalente que también puede definirse como la potencia que tendría que ser transmitida, si la potencia se dispersa uniformemente desde el punto de radiación.

La densidad de potencia está dada por:

$$S = (\text{PIRE} / 4\pi d^2) \text{ Ka dBW/m}^2$$

Donde:

d = Distancia entre la estación de tierra y el satélite

K_a = Factor de atenuación atmosférica

Uno de los objetivos de este trabajo de tesis, es mostrar el uso de las comunicaciones vía satélite como una herramienta mas en la época moderna, además, este trabajo pretende explicar de manera sencilla y clara los fundamentos básico necesarios para realizar cualquier tipo de enlace por satélite. En este trabajo, realizaremos un ejemplo, con base a lo desarrollado a lo largo de este capítulo. En el diseño de enlaces vía satélite se toma en consideración muchos otros parámetros que no se tocaron en el trabajo, estos aspectos adicionales están en función del proveedor del sistema de red satelital. Realizaremos un ejemplo desarrollado paso a paso y finalmente veremos un ejemplo realizado por computadora con el software propietario de NEC de México S.A. de C.V.

3.10 Diseño de enlace satelital portadora digital SCPC

A continuación realizaremos un diseño de cálculo de enlace SCPC digital utilizando los datos de satélite Solidaridad II.

Datos del Enlace

Satélite	Solidaridad II	
	La Paz	Cabo San Lucas
Posición Orbital	113° W	
	La Paz	Cabo San Lucas
PIRE del satélite en saturación	37.70 dBW	36.78 dBW
Densidad de flujo para saturar el satélite	-94.80 dBW	-93.70 dBW
Figura de mérito del satélite	4.9 dB/°K	4.7 dB/°K
Back-Off de entrada al satélite	7.5 dB	7.5 dB
Back-Off de salida al satélite	5.0 dB	5.0 dB
Atenuador de posición del transponder	10 dB	10 dB
Frecuencia ascendente	6.13 GHz	6.13 GHz
Frecuencia descendente	3.90 GHz	3.90 GHz
Ancho de banda del transpondedor	36 MHz	36 MHz
Ancho de banda asignado en el transponder	6.5 MHz	6.5 MHz

Tabla III.2 Datos del satélite para el análisis de enlace

Datos de las estaciones terrenas

Estación Tx	La Paz	Cabo San Lucas
Longitud	110.18°	109.85°
Latitud	24.10°	22.91°
Diámetro Antena	6.3m	6.3m
Eficiencia de la antena	65%	65%
Ganancia de antena Tx	50.26	50.26
Ganancia de antena Rx	46.34	46.34
Temperatura de ruido de la Estación Terrena	105°K	105 °K
Temperatura del Sistema	27.6 dB/ °K	27.6 dB/°K
A.S.N.M.	0.030 Km	0.032 Km

Tabla II.3 Datos de las estaciones terrenas para el análisis de enlace

Datos de la portadora

Descripción	La Paz	Cabo San Lucas
Velocidad	8,448.00 Kbps	8,448.00 Kbps
Tipo de modulación	8 PSK	8PSK
FEC	2/3	2/3
Roll off	14 %	14 %
BER	1×10^{-7}	1×10^{-7}
Eb/No	6.6	6.6
Disponibilidad	99.9	99.9
Margen por lluvia	0	0

Tabla III.4 Datos de la información de la portadora para el análisis de enlace

Cálculo de la figura de mérito en las estaciones terrenas

La Paz

$$(G/Te) = G_{RX} - 10 \log (T_{E/T})$$

$$(G/Te) = 46.34 - 10 \log (105)$$

$$(G/Te) = \underline{26.12 \text{ dB/ } ^\circ\text{K}}$$

Cabo San Lucas

$$(G/Te) = G_{RX} - 10 \log (T_{E/T})$$

$$(G/Te) = 46.34 - 10 \log (105)$$

$$(G/Te) = \underline{26.12 \text{ dB/ } ^\circ\text{K}}$$

Ancho de Banda

$$BW_{TX} = (U_{TX} (\text{FM Roll Off})(\text{Factor Codificación})^{-1})$$

$$U_{TX} = \text{Vel}_{TX} (\text{FEC})^{-1}$$

$$\text{Factor Codificación} = 0.9216$$

$$U_{TX} = (8,448)(2/3)^{-1} = 12672 \text{ KHz}$$

$$\text{FM para 8 PSK} = 1/3$$

$$BW_{TX} = (12672)(1/3)(100\%+14\%)$$

$$\underline{BW_{TX} = 4815.36 \text{ KHz}/0.9216 = 5225 \text{ KHz}}$$

En dB

$$BW_{TX} = 10 \log 5225 \times 10^3$$

$$\underline{BW_{TX} = 67.18 \text{ dB Hz}}$$

Cálculo de distancias y localización del satélite:

Ecuaciones de localización

$$\text{Sen } \alpha = R/L \quad \text{sen } \beta$$

$$\text{Cos } \beta = \cos \gamma \quad \cos \Delta\theta$$

$$\text{Cos } \theta = \frac{R+ASN+M+H}{L} \quad \text{sen } \beta$$

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{R+ASN+M+H}{L} \quad \text{sen } \beta \right)$$

$$\beta = \cos^{-1} (\cos \gamma \quad \cos \Delta\theta)$$

$$L = \left[(R+ASN+M)^2 + (R+H)^2 - 2(R+ASN+M)(R+H)\cos \beta \right]^{1/2}$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{\tan \Delta\theta}{\text{Sen } \gamma}$$

Donde:

R = Radio de la Tierra = 6378 Km

H = Altitud del satélite sobre el ecuador = 35786 Km

L = Distancia entre la estación terrena (ET) y el satélite

θ_e = Longitud de la Estación Terrena

θ_s = Longitud del satélite

$\Delta\theta$ = Diferencia de longitud entre ET y el satélite

γ = Latitud de la ET

β = Distancia angular entre la ET y Q sobre la Tierra

α = Angulo entre la ET y la perpendicular del satélite sobre el Ecuador

δ = Angulo de azimut de la antena ET

S = Posición del satélite en la órbita terrestre

θ = Angulo de elevación de la estación terrena

Distancia al satélite para la estación terrena La Paz

$$\Delta\theta = (110.18 - 113) = -2.82^\circ$$

$$\cos \beta = \cos (24.10) \cos (-2.82) = 0.9117$$

$$L_1 = \left[(6378+0.030)^2 + (6378+35786)^2 - 2(6378+0.030)(6378+35786)(0.9117) \right]^{1/2}$$

$$L_1 = \left[40679266.68 + 1777802896 - 2(6378.030)(42164)(0.9117) \right]^{1/2}$$

$$L_1 = \left[40679266.68 + 1777802896 - 490354666.7 \right]^{1/2}$$

L₁ = 36443.48 Km. , distancia de la estación terrena La Paz al satélite

Distancia al satélite para la estación terrena Cabo San Lucas

$$\Delta\theta = 109.85 - 113 = -3.15^\circ$$

$$\cos \beta = \cos (22.91) \cdot \cos (-3.15) = 0.919725$$

$$L_2 = \left[(6378+0.032)^2 + (6378+35786)^2 - 2(6378+0.032)(6378+35786)(0.919725) \right]^{1/2}$$

$$L_2 = \left[40679292.193 + 1777802896 - 2(6378.032)(42164)(0.919725) \right]^{1/2}$$

$$L_2 = \left[40679292.193 + 1777802896 - 494671040.058 \right]^{1/2}$$

L₂ = 36384.215 Km , distancia de la estación terrena Cabo San Lucas al satélite

Calculo de ángulo de elevación y acimut de La Paz

Angulo Elevación

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{R+ASN+H}{L} \cdot \sin \beta \right)$$

$$\cos \theta = \left(\frac{(6378 + 35786 + 0.030)}{36443.48} \right) * 0.4107 = 0.475167$$

$$\theta = \cos^{-1} (0.475167)$$

$\theta = 61.63^\circ$ Es el ángulo de elevación de La Paz

Angulo Acimut

$$\tan \delta = \frac{\tan (-2.82)}{\sin (24.10)} = -0.120632$$

$$\delta = \tan^{-1} (-0.120632) = -6.87851550$$

$$\text{Azimut de la ET} = 180 - \delta = 180 - (-6.87851550)$$

$\text{Az} = 186.88^\circ$ Angulo de Acimut de La Paz

Cálculo de ángulo de elevación y acimut de Cabo San Lucas

Angulo Elevación

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{R+ASN+H}{L} \cdot \sin \beta \right)$$

$$\cos \theta = \left(\frac{(6378 + 35786 + 0.032)}{36384.215} \right) * 0.392497 = 0.45484713$$

$$\theta = \cos^{-1} (0.45484713)$$

$\theta = 62.94^\circ$ Es el ángulo de elevación de Cabo San Lucas

Angulo Acimut

$$\tan \delta = \frac{\tan (-3.15)}{\sin 22.91} = -0.120632$$

$$\delta = \tan^{-1} (-0.141370) = -8.046603$$

$$\text{Azimut de la ET} = 180 - \delta = 180 - (-8.046603) = 188.04^\circ$$

Az= 188.04° Angulo de Acimut de Cabo San Lucas

En la parte ascendente se evalúa la relación C/N ascendente total, que constituye la calidad del enlace en la comunicación entre la E/T transmisora y el satélite como receptor, tomando en cuenta a las diferentes relaciones de interferencia que degradan el comportamiento del enlace.

Primeramente, evaluaremos 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, 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 polarizaciones de satélite y E/T, la atenuación que produce la lluvia y las características de ruido y ganancia del satélite.

Posteriormente, tienen que evaluarse las diferentes relaciones de interferencia que afectan al enlace ascendente como son las siguientes:

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

C/X_{pol} Relación de la portadora respecto de las señales en la polarización contraria que van hacia el mismo satélite.

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

La relación C/N_{ASCTOT} considera todos los aspectos mencionados, 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.

Calculo de la relación portadora a densidad de ruido ascendente

$$C/N_o)_{ASC} = PIRE_{E/T} + (G/T)_{SAT} - K - L_{s\ asc} - \mu_{asc} - L_{\Delta asc}$$

Donde:

$PIRE_{E/T}$ Potencia Isotrópica radiada efectiva desde la E/T.

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

K Constante de Boltzman = -228.6 (dBj/°K)

$L_{s\ asc}$ Pérdidas en el espacio libre ascendente

μ_{asc} Margen de atenuación por lluvia ascendente = 0, para disponibilidad del 99.98 % en la banda C.

$L_{\Delta asc}$ Pérdidas misceláneas, es la sumatoria de las pérdidas atmosféricas, apuntamiento y de polarización, su valor aproximado es de 1 dB

$$PIRE_{E/T} = DFS_{port} + L_p$$

DFS_{port} Densidad de flujo satelital por portadora

L_p Perdidas por dispersión ascendente

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

D = Distancia del satélite a la estación terrena [m]

$$PIRE_{E/T} = DFS_{port} + L_s$$

$$DFS_{port} = DFS_{SAT} - BOI + ATP + 10 \log \left(\frac{\text{Ancho de ruido}}{\text{Ancho de Banda del transpondedor}} \right)$$

Perdidas por dispersión ascendente (dBm²)

$$L_p = 10 \log (4 \pi (36443.48 \times 10^3)^2)$$

$$\underline{L_p = 162.22 \text{ dBm}^2}$$

$$\text{DFS port} = -94.80 - 7.5 + 10 + 10 \log (5225 \times 10^3 / 36 \times 10^6)$$

$$\text{DFS port} = -94.80 - 7.5 + 10 - 8.38216$$

$$\text{DFS port} = -100.68 \text{ dBW/m}^2$$

$$\text{PIRE}_{E/T} = -100.68 + 162.22$$

$$\text{PIRE}_{E/T} = 61.53 \text{ dBW}$$

Relación portadora a ruido ascendente

$$(C/No)_{ASC} = \text{PIRE}_{E/T} + (G/T)_{SAT} - K - L_s \text{ asc} - \mu_{asc} - L \Delta_{asc}$$

$$(C/No)_{ASC} = 61.53 + 4.9 - (-228.60) - 162.22 - 0 - 1$$

$$(C/No)_{ASC} = 131.81 \text{ dB-Hz}$$

Relación portadora a ruido ascendente

$$(C/N)_{ASC} = (C/No)_{ASC} - 10 \log (AB)$$

$$(C/N)_{ASC} = 131.81 - 10 \log (4815.36 \times 10^3)$$

$$(C/N)_{ASC} = 64.98 \text{ dB}$$

Relación portadora intermodulación ascendente

$$C/I = - \text{HPA INT} - \text{IPBOi} - 10 \log (AB)$$

HPA INT = Ascendente: -106.0 dB/Hz, Descendente: -97.2 dB/Hz (Dato del fabricante del satellite)

$$\text{IPBOi} = \text{DFS} - \text{PIRE}_{E/T} + \text{Ls asc} + \text{ATP} + \text{Latm} + \mu_{\text{asc}}$$

$$\text{IPBOi} = -94.80 - 61.53 + 162.22 + 10 + 0$$

$$\text{IPBOi} = 15.89 \text{ dB}$$

$$C/I = - (-106.0) - 15.89 - 10 \log (4815.36 \times 10^3)$$

$$C/I = -(-106.0) - 15.89 - 66.82$$

$$\underline{C/I = 23.89 \text{ dB}}$$

Relación portadora polarización cruzada ascendente

$$C/X_{\text{xpol}} = - \text{INTASCCPOL} - \text{IPBOi} - 10 \log (AB)$$

INTASCCPOL = Ascendente: -112.5 dB/Hz, Descendente: -107.5 dB/Hz (Dato del fabricante del satélite)

$$C/X_{\text{xpol}} = -(-112.5) - 15.89 - 10 \log (4815.36 \times 10^3)$$

$$C/X_{\text{xpol}} = -(-112.5) - 15.89 - 66.82$$

$$\underline{C/X_{\text{xpol}} = 29.79 \text{ dB}}$$

Relación portadora por satélite adyacente ascendente

$$C/X \text{ satady} = - \text{INTSCSADY} - \text{IPBOi} - 10 \log (AB)$$

INTSCSADY= Ascendente: -110.5 dB/Hz, Descendente: -15.0 dB/Hz (Dato del fabricante del satélite)

$$C/X \text{ satady} = -(-110.5) - 15.89 - 10 \log (4815.36 \times 10^3)$$

$$C/X \text{ satady} = -(-110.5) - 15.89 - 66.82$$

$$\underline{C/X \text{ satady} = 27.79 \text{ dB}}$$

Relación portadora a ruido ascendente del sistema

$$(C/N)_{\text{ASC SIST}} = 10 \log \left(\frac{1}{\frac{1}{\log^{-1}(C/N)_{10\text{ASC}}} + \frac{1}{\log^{-1}(C/I)_{10}} + \frac{1}{\log^{-1}(C/X_{\text{pol}})_{10}} + \frac{1}{\log^{-1}(C/X_{\text{satady}})_{10}}} \right)$$

$$(C/N)_{\text{ASC SIST}} = 10 \log \left(\frac{1}{\frac{1}{\log^{-1}(64.98/10)_{\text{ASC}}} + \frac{1}{\log^{-1}(23.89/10)} + \frac{1}{\log^{-1}(29.79/10)} + \frac{1}{\log^{-1}(27.79/10)}} \right)$$

$$(C/N)_{\text{ASC SIST}} = 10 \log (147.135)$$

$$\underline{(C/N)_{\text{ASC SIST}} = 21.67 \text{ dB}}$$

Relacion portadora a ruido descendente

$$C/N_o)_{desc} = PIRE_{SAT} + (G/T)_{E/T} - K - Ls_{desc} - \mu_{desc} - L_{\Delta desc}$$

Donde:

$PIRE_{SAT}$ PIRE de satélite por portadora.

$(G/T)_{E/T}$ Figura de mérito de la Estación Terrena

K Constante de Boltzman = -228.6 (dBJ/°K)

Ls_{desc} Pérdidas en el espacio libre descendente

μ_{desc} Margen de atenuación por lluvia descendente = 0, para disponibilidad del 99.98 % en la banda C.

$L_{\Delta desc}$ Pérdidas misceláneas, es la sumatoria de las pérdidas atmosféricas, apuntamiento y de polarización, su valor aproximado es de 1 dB

$$PIRE_{SATU(RX)} = -DFS_{TX} - ATP + MIBO - Lp_{desc} + PIRE_{E/T} - MOBO + PIRE_{SATU(RX)}$$

Donde:

DFS_{TX} = Densidad de Flujo de Saturación hacia la localidad Tx

$PIRE_{SATU(RX)}$ = Es el PIRE de saturación hacia la localidad Rx

Lp_{desc} = Perdidas atmosfericas desde la estacion terrena Rx

Perdidas por dispersión ascendente (dBm²)

$$Lp = 10 \log (4 \pi (36384.30 \times 10^3)^2)$$

$$Lp = 162.21 \text{ dBm}^2$$

Pérdidas en el espacio libre descendente

$$Ls_{desc} = 20 \log ((4\pi(3.9 \times 10^9) (36384.3 \times 10^3))/3 \times 10^8)$$

$$Ls_{desc} = 20 \log (5943841779)$$

$$Ls_{desc} = 195.48 \text{ dB}$$

$$\text{PIRE}_{\text{SAT}} = -(-93.7) - 10 + 7.5 - 162.21 + 61.53 - 5.0 + 36.78$$

$$\underline{\text{PIRE}_{\text{SAT}} = 22.3 \text{ dBW}}$$

$$(\text{C}/\text{No})_{\text{desc}} = 22.3 + 27.6 - (-228.6) - 195.48 - 1 - 0$$

$$\underline{(\text{C}/\text{No})_{\text{desc}} = 82.02 \text{ dB-Hz}}$$

Relación portadora a ruido descendente

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

$$(\text{C}/\text{N})_{\text{desc}} = 82.02 - 10 \log (4815.36 \times 10^3)$$

$$\underline{(\text{C}/\text{N})_{\text{desc}} = 15.19 \text{ dB}}$$

Relación portadora a ruido descendente del sistema

$$(\text{C}/\text{N})_{\text{desc sist}} = 10 \log \left(\frac{1}{\frac{1}{\log^{-1}(\text{C}/\text{N})/10_{\text{DESC}}} + \frac{1}{\log^{-1}(\text{C}/\text{I})/10} + \frac{1}{\log^{-1}(\text{C}/\text{Xpol})/10} + \frac{1}{\log^{-1}(\text{C}/\text{Xsatady})/10}} \right)$$

$$\text{C}/\text{I}_{\text{Interm desc}} = \text{C}/\text{I} = -\text{SAT}_{\text{INT}} - \text{OPBOi} - 10 \log (\text{AB})$$

$$\text{C}/\text{X}_{\text{Polarizacion cruzada desc}} = \text{C}/\text{X}_{\text{pol}} = -\text{INTDESPOL} - \text{OPBOi} - 10 \log (\text{AB})$$

$$\text{C}/\text{X}_{\text{Satélite ady desc}} = \text{C}/\text{X}_{\text{satady}} = \text{PIRE}_{\text{SAT}} - (\text{INT}_{\text{DESADY}} - \text{GANT}_{\text{RX}}) - 10 \log (\text{AB})$$

OPBOi de portadora

$$\text{OPBOi} = \text{MOBO} - \text{MIBO} + \text{IPBOi}$$

$$\text{OPBOi} = 5.0 - 7.5 + 15.89$$

$$\underline{\text{OPBOi} = 13.39 \text{ dB}}$$

C/I Intermodulación descendente

$$C/I = -(-97.2) - 13.39 - 10 \log (4815.36 \times 10^3)$$

$$\underline{C/I = 16.98 \text{ dB}}$$

C/X Polarización cruzada descendente

$$C/X \text{ pol} = -(-107.5) - 13.39 - 10 \log (4815.36 \times 10^3)$$

$$\underline{C/X \text{ pol} = 27.28 \text{ dB}}$$

C/X Satélite adyacente descendente

$$C/X \text{ satady} = \text{PIRE}_{\text{SAT}} - (\text{INT}_{\text{DESADY}} - \text{GANT}_{\text{RX}}) - 10 \log (\text{AB})$$

$$C/X \text{ satady} = 22.3 - (-15.00 - 46.34) - 10 \log (4815.36 \times 10^3)$$

$$C/X \text{ satady} = 22.3 - (-61.34) - 66.8262$$

$$\underline{C/X \text{ satady} = 16.78 \text{ dB}}$$

$$(C/N)_{\text{desc sist}} = 10 \log$$

$$(16.78/10)$$

$$\left(\frac{1}{\frac{1}{\log^{-1}(15.19/10)_{\text{DESC}}} + \frac{1}{\log^{-1}(16.98)/10} + \frac{1}{\log^{-1}(27.28)/10} + \frac{1}{\log^{-1}}}} \right)$$

$$\underline{(C/N)_{\text{desc sist}} = 11.35 \text{ dB}}$$

Una vez calculados las relaciones (C/N)_{asc} y (C/N)_{desc}, debemos evaluar nuestro enlace calculando (C/N)_{TOTAL} y compararla con (C/N)_{REQUERIDA} con la que obtendremos el margen de nuestro enlace.

Calculo de (C/N)_{TOTAL}

$$(C/N)_{TOTAL} = 10 \log \left(\frac{1}{\frac{1}{\log((C/N)_{asc\ total}/10)} + \frac{1}{\log((C/N)_{desc\ total}/10)}} \right)$$

$$(C/N)_{TOTAL} = 10 \log \left(\frac{1}{\frac{1}{\log((21.67/10)} + \frac{1}{\log((11.35/10)})} \right)$$

$$\underline{(C/N)_{TOTAL} = 10.96 \text{ dB}}$$

Relación de portadora a ruido requerido

$$(C/N)_{req} = E_b/N_o + 10 \log(\text{Vel inf}) - 10 \log(AB)$$

$$(C/N)_{req} = 6.6 + 10 \log(8448 \times 10^3) - 10 \log(4815.36 \times 10^3)$$

$$(C/N)_{req} = 6.6 + 69.29 - 66.82$$

$$\underline{(C/N)_{req} = 9.06 \text{ dB}}$$

Margen del enlace

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

$$ME = 10.96 - 9.06$$

$$\underline{ME = 1.89}$$

El margen del enlace debe ser mayor o cuando menos igual a cero. En caso de que el margen sea negativo, nuestro enlace no corresponderá a la tasa de bits erróneos planteada como condición inicial de diseño. Si el margen es inferior al esperado, incrementaremos el PIRE de la E/T y recalculamos nuevamente, hasta lograr el margen del enlace.

Porcentaje de potencia consumida por la portadora del satélite

$$\% \text{ POT} = \left[\text{alog} \left(\frac{\text{PIREsat} - \text{PIREsat}_u + \text{MOBO}}{10} \right) \right] \times 100$$

$$\% \text{ POT} = \left[\text{alog} \left(\frac{22.3 - 36.78 + 5}{10} \right) \right] \times 100$$

% POT = 11.27 %

Calculo de la potencia consumida en el HPA

PTHPA = PIRE E/T - G_{TX} - LHPA y ANT

POTHPA = 61.53 - 50.26 +1

POTHPA = 12.27 dBW

En Watts

POTHPA = alog (12.27/10)

POTHPA = 16.86 W

No es recomendable que el valor del HPA quede justo con el valor calculado, para este caso, podemos utilizar un HPA de 100 W con un back-off de 3 dB, debido a:

$$100 \text{ W} = 20 \text{ dBW},$$

$$20 \text{ dBW} - 3 = 17 \text{ dBW} = 50 \text{ W}$$

En el mercado podemos encontrar HPA que cumplen este requerimiento.

Capítulo Cuatro

IV Estación Terrena Satelital para contingencias por huracanes

La costa pacífico-norte de la República Mexicana es una de las costas de México que sufre los embates de tempestades marítimas que van desde ligeras depresiones y tormentas tropicales hasta fuertes huracanes de categoría IV~V.

Debido a estas tempestades las telecomunicaciones de TELMEX se han interrumpido por la devastación de las infraestructuras construidas para soportar la comunicación entre las algunas ciudades del Estado Mexicano de Baja California Sur, La Paz y San José de los Cabos, con el resto del país.

Para solucionar este problema, NEC de México S.A. de C.V. instaló un sistema de telecomunicación vía satélite de resistencia de altos vientos para las ciudades de La Paz, San José de los Cabos, BCS, y Hermosillo, Son. El sistema comprende el suministro e instalación de dos estaciones terrenas de comunicación vía satélite: una en la ciudad de La Paz y la otra en la ciudad de San José de los Cabos, y el suministro e instalación de equipo de banda base en la ciudad de Hermosillo para la comunicación con las dos ciudades anteriores. Cabe mencionar que para la ciudad de Hermosillo se ha aprovechado la infraestructura ya instalada de TELMEX.

4.1 Características Generales de la Red

La Red de Telecomunicaciones vía Satélite de TELMEX para el proyecto “Estación de Contingencia por Huracanes” consiste de tres sitios principales:

1. Estación Terrena Maestra de Hermosillo.
2. Estación Terrena Semi-Maestra de La Paz.
3. Estación Terrena Semi-Maestra de San José del Cabo.

En la figura IV.1 se muestra la situación geográfica de cada uno de los sitios.

Cada una de las estaciones terrenas tiene dos enlaces de satélite. La disposición de los enlaces full-dúplex es como se muestra en la tabla IV.1:

Resumen de Enlaces Full-Dúplex	
Hermosillo - La Paz	: 1 x 34.368 Mbps
Hermosillo - San José del Cabo	: 1 x 34.368 Mbps
La Paz - San José del Cabo	: 1 x 8.448 Mbps

Tabla IV.1 Resumen de Enlaces Full-Dúplex



Figura IV. 1. Ubicación geográfica de las Estaciones Terrenas del proyecto.

Las principales características de cada uno de los enlaces se como se muestra en la tabla IV.2

Enlace de Hermosillo - La Paz (H-LP)	
Topología	: Punto a Punto
Satélite	: Solidaridad II
Banda de Operación	: Banda C
Transponder	: Amplio (1W)
Polarización	: Lineal
Técnica de Acceso	: PAMA/SCPC
Bit Error Rate	: 1×10^{-8}
Eb/No	: 8.6 dB
Velocidad	: 34.368 Mbps
Modulación	: 16QAM
FEC	: $\frac{3}{4}$
Ancho de Banda	: 18.00 MHz
Velocidad del viento	: En operación: 200 Km/h En sobrevivencia: 288 Km/h
Enlace de La Paz - Hermosillo (LP-H)	
Topología	: Punto a Punto
Satélite	: Solidaridad II
Banda de Operación	: Banda C
Transponder	: Amplio (1W)
Polarización	: Lineal
Técnica de Acceso	: PAMA/SCPC
Bit Error Rate	: 1×10^{-8}
Eb/No	: 8.6 dB
Velocidad	: 34.368 Mbps
Modulación	: 16QAM
FEC	: $\frac{3}{4}$
Ancho de Banda	: 24.50 MHz
Velocidad del viento	: En operación: 200 Km/h En sobrevivencia: 288 Km/h
Enlace de Hermosillo - San José del Cabo (H-SJC)	
Topología	: Punto a Punto
Satélite	: Solidaridad II
Banda de Operación	: Banda C
Transponder	: Amplio (5W)
Polarización	: Lineal
Técnica de Acceso	: PAMA/SCPC
Bit Error Rate	: 1×10^{-8}
Eb/No	: 6.6 dB
Velocidad	: 34.368 Mbps
Modulación	: 8PSK
FEC	: $\frac{2}{3}$
Ancho de Banda	: 26.10 MHz
Velocidad del viento	: En operación: 200 Km/h

	En sobrevivencia: 288 Km/h
Enlace de San José del Cabo - Hermosillo (SJC-H)	
Topología	: Punto a Punto
Satélite	: Solidaridad II
Banda de Operación	: Banda C
Transponder	: Amplio (6W)
Polarización	: Lineal
Técnica de Acceso	: PAMA/SCPC
Bit Error Rate	: 1×10^{-8}
Eb/No	: 6.6 dB
Velocidad	: 34.368 Mbps
Modulación	: 8PSK
FEC	: 2/3
Ancho de Banda	: 26.10 MHz
Velocidad del viento	: En operación: 200 Km/h En sobrevivencia: 288 Km/h
Enlace de La Paz - San José del Cabo	
Topología	: Punto a Punto
Satélite	: Solidaridad II
Banda de Operación	: Banda C
Transponder	: Angosto (2N)
Polarización	: Lineal
Técnica de Acceso	: PAMA/SCPC
Bit Error Rate	: 1×10^{-8}
Eb/No	: 6.6 dB
Velocidad	: 8.448 Mbps
Modulación	: 8PSK
FEC	: 2/3
Ancho de Banda	: 6.50 MHz
Velocidad del viento	: En operación: 200 Km/h En sobrevivencia: 288 Km/h
Enlace de San José del Cabo - La Paz	
Topología	: Punto a Punto
Satélite	: Solidaridad II
Banda de Operación	: Banda C
Transponder	: Angosto (4N)
Polarización	: Lineal
Técnica de Acceso	: PAMA/SCPC
Bit Error Rate	: 1×10^{-8}
Eb/No	: 6.6 dB
Velocidad	: 8.448 Mbps
Modulación	: 8PSK
FEC	: 2/3
Ancho de Banda	: 6.50 MHz
Velocidad del viento	: En operación: 200 Km/h En sobrevivencia: 288 Km/h

Tabla IV.2 Configuración de Portadoras para el proyecto

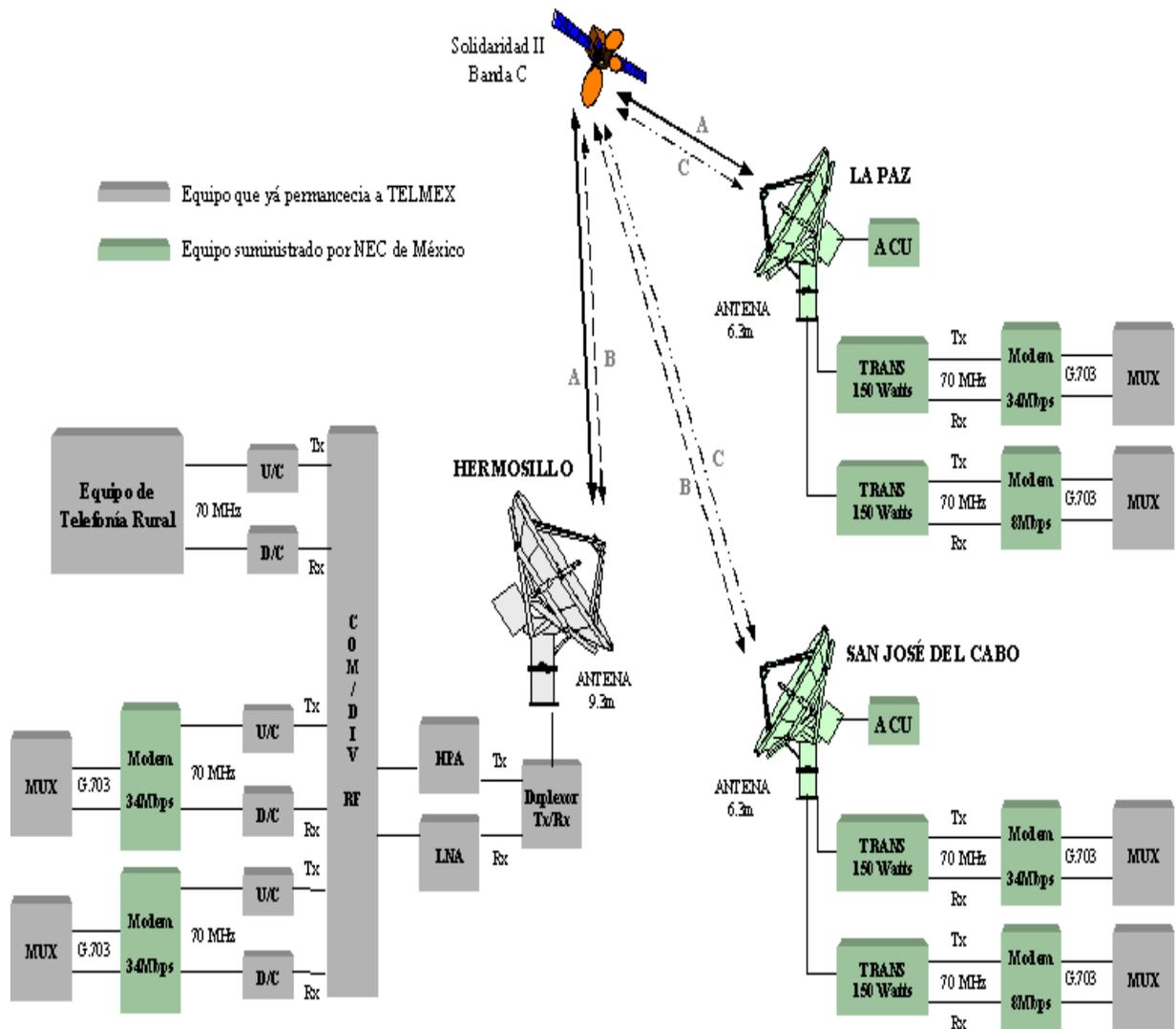


Figura IV.2. Configuración de bloques de las Estaciones Terrenas.

Descripción	Tipo A	Tipo B	Tipo C	
Enlace	Hermosillo - La Paz	Hermosillo - SJC	La Paz - SJC	
Transponder	W	W	N	
Velocidad de información	34	34	8	Mbps
Modulación	16QAM	8PSK	8PSK	
FEC	3/4	2/3	2/3	
Ancho de Banda para portadora de Hermosillo	24.5	26.1	N/A	MHz
Ancho de Banda para portadora de La Paz	18	N/A	6.5	MHz
Ancho de Banda para portadora de SJC	N/A	26.1	6.5	MHz
Potencia de SSPA para portadora de La Paz (sin back off)	64	N/A	31	W
Potencia de SSPA para portadora de SJC (sin back off)	N/A	76	35	W

Tabla IV. 3 Configuración de bloques de las Estaciones Terrenas

En resumen, el ancho de banda disponible para la operación de la red es como se muestra a continuación.

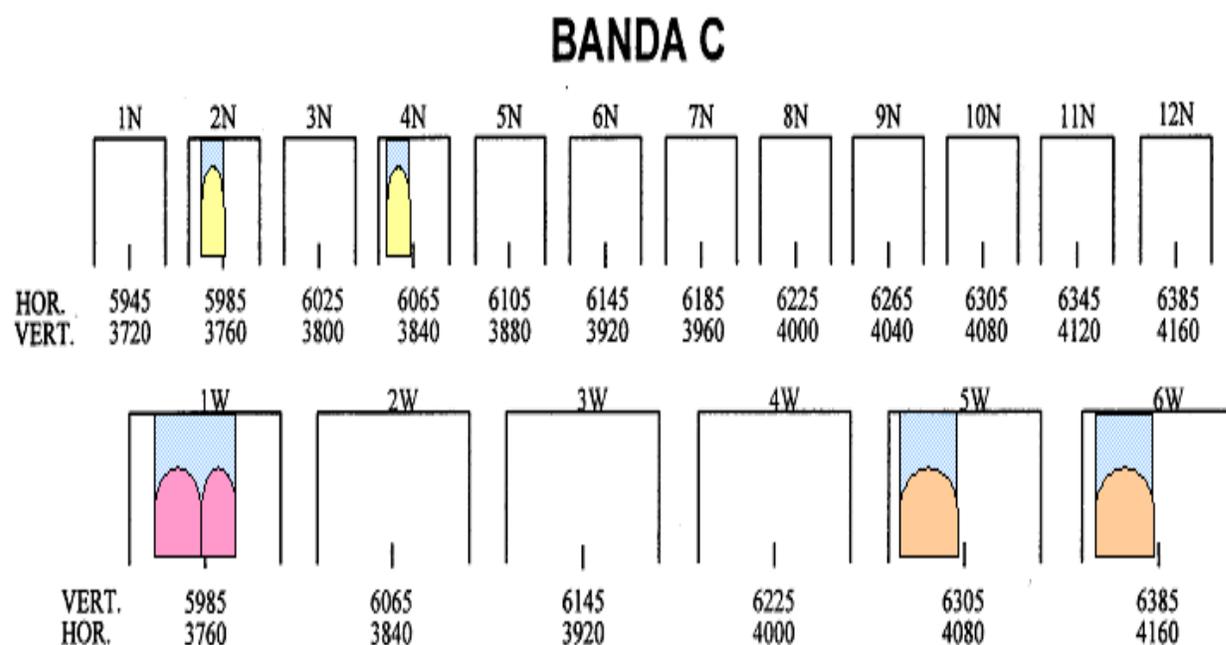


Figura IV.3. Disposición del ancho de banda .

Sumario de Ancho de Banda					
Hermosillo - La Paz		La Paz - Hermosillo			
24.5	+	18	=	42.5	MHz
Hermosillo - SJC		SJC - Hermosillo			
26.1	+	26.1	=	52.2	MHz
La Paz - SJC		SJC - La Paz			
6.5	+	6.5	=	13	MHz
TOTAL			=	107.7	MHz

Fig. IV.4. Resumen del ancho de banda.

4.1.1 Configuración de las Estaciones Terrenas.

La configuración de las estaciones terrenas se describe a continuación en las siguientes líneas.

4.1.2 Estación Maestra de Hermosillo

La configuración de la Estación Maestra de Hermosillo, incluyendo el equipo utilizado de la infraestructura existente, es el que a continuación se muestra:

1. Una antena de 9.3m con 4 puertos lineales para banda C (infraestructura original de Telmex).
2. Un subsistema amplificador de alta potencia HPA de 1000W para transmisión en banda C y de configuración 1+1 (infraestructura original de Telmex).
3. Un subsistema amplificador de bajo ruido LNA de 35°K para recepción en banda C y de configuración 1+1 (infraestructura original de Telmex).
4. Dos convertidores de frecuencia de subida IF de 70MHz para banda C (infraestructura original de Telmex).
5. Dos convertidores de frecuencia de bajada IF de 70MHz para banda C (infraestructura original de Telmex).
6. Un combinador/divisor de RF con 2 entradas y 2 salidas para conectarse a los convertidores de frecuencia de subida y bajada (infraestructura original de Telmex).
7. Un modulador/demodulador de datos con interfaz G703 para enlace a La Paz (suministrado por NEC).
8. Un modulador/demodulador de datos con interfaz G703 para enlace a San José del Cabo (suministrado por NEC).
9. Dos multiplexores de datos (infraestructura original de Telmex).
10. Bastidores y UPS de respaldo (infraestructura original de Telmex).
11. Materiales de instalación.

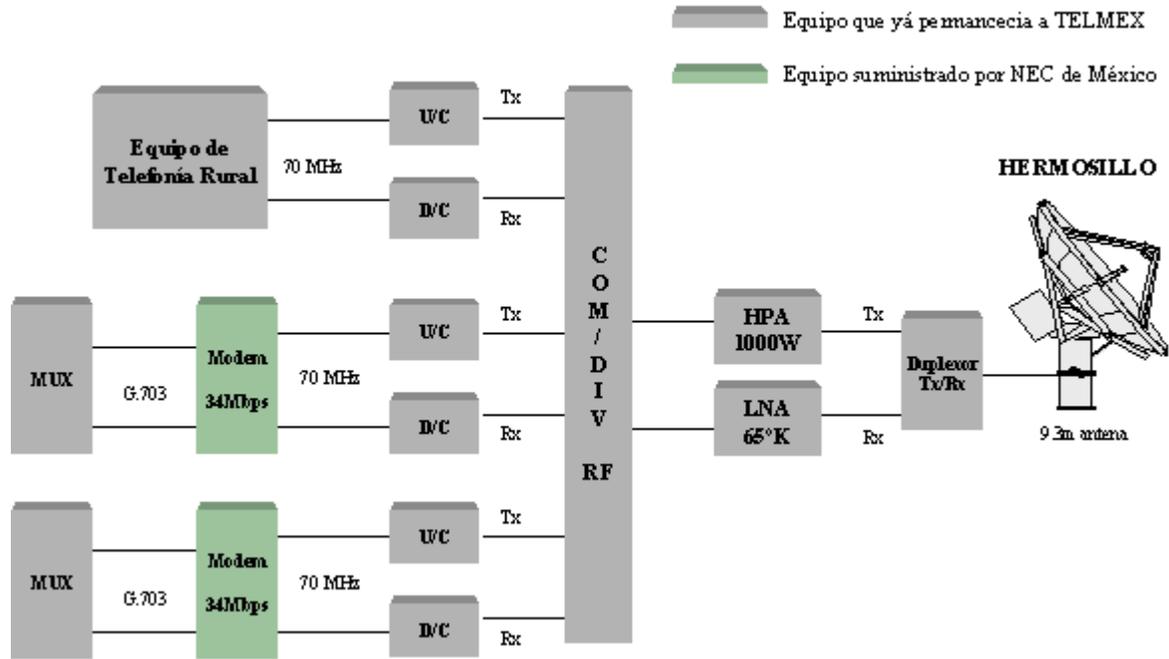


Fig. IV.5. Configuración gráfica de la Estación Maestra de Hermosillo.

4.1.3 Estación Semi-Maestra de La Paz

La configuración de la Estación Semi-Maestra de La Paz es como se describe enseguida.

1. Una antena de 6.3m para resistencia de altos vientos (288 km/hr) con 4 puertos lineales para banda C (suministrado por NEC)
2. Dos unidades transreceptoras de 150W/65°K con IF de 70MHz (suministrado por NEC).
3. Un modulador/demodulador de datos con interfaz G703 para enlace a Hermosillo (suministrado por NEC).
4. Un modulador/demodulador de datos con interfaz G703 para enlace a San José del Cabo (suministrado por NEC).
5. Dos multiplexores de datos (infraestructura original de Telmex).
6. Una unidad de ACU (suministrado por NEC).
7. Bastidores y UPS de respaldo ((infraestructura original de Telmex).
8. Materiales de instalación.

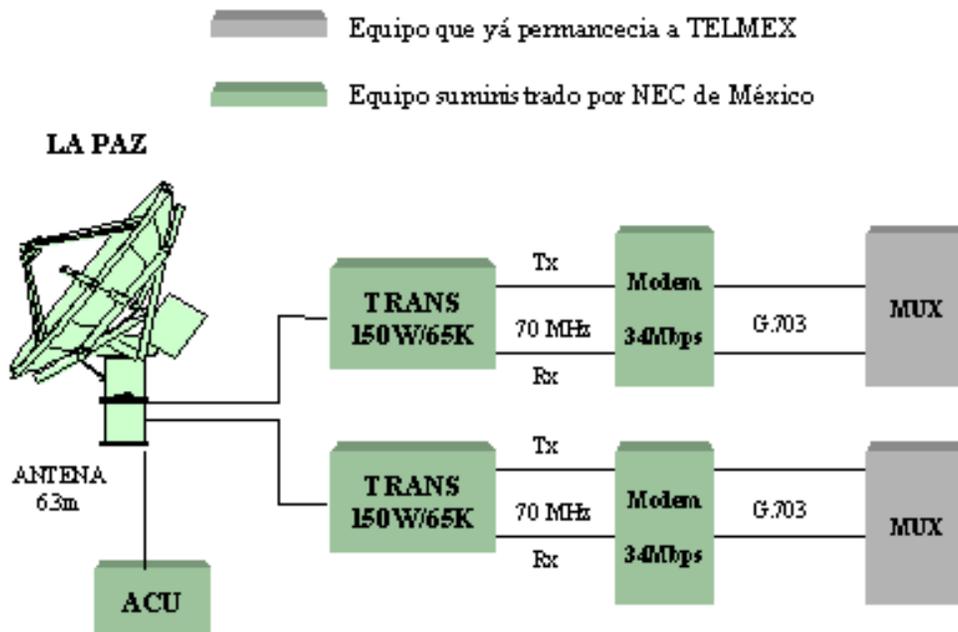


Fig. IV.6 Configuración gráfica de la Estación Semi-Maestra de La Paz.

4.1.4 Estación Semi-Maestra de San José del Cabo

La configuración de la Estación Semi-Maestra de San José del Cabo es como se describe enseguida.

1. Una antena de 6.3m para resistencia de altos vientos (288 km/hr) con 4 puertos lineales para banda C (suministrado por NEC)
2. Dos unidades transreceptoras de 150W/65°K con IF de 70MHz (suministrado por NEC).
3. Un modulador/demodulador de datos con interfaz G703 para enlace a Hermosillo (suministrado por NEC).
4. Un modulador/demodulador de datos con interfaz G703 para enlace a La Paz (suministrado por NEC).
5. Dos multiplexores de datos (infraestructura original de Telmex).
6. Una unidad de ACU (suministrado por NEC).
7. Bastidores y UPS de respaldo ((infraestructura original de Telmex).
8. Materiales de instalación.

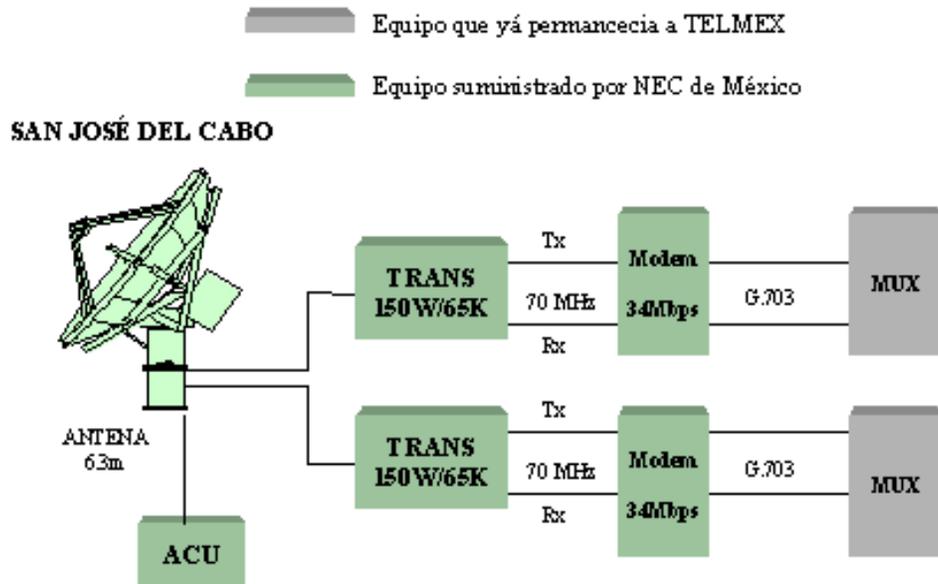


Fig. IV.7 . Configuración gráfica de la Estación Semi-Maestra de San José del Cabo.

4.2 Recursos Satelitales

El resumen de los recursos satelitales para el proyecto de APEC son los que a continuación se muestran.

Satélite	: Solidaridad II
Banda	: C
Topología de Red	: Estrella
Región	: 4

Tabla IV.4 Características de la Red del Proyecto APEC

Transponder	: Amplio (1W)
Polarización	: V/H
Disponibilidad	: 99.98%
Velocidad	: 34.368 Mbps
Modulación	: 16QAM
FEC	: $\frac{3}{4}$
Bit Error Rate	: 1×10^{-8}
Eb/No	: 8.6 dB
Ancho de Banda	: 14.17 MHz
Ancho de Banda Asigando	: 24.50 MHz
Potencia de la Portadora	: 27.44 W
Frecuencia Central de la Portadora	: MHz

Tabla IV. 5 Características de la Portadora Hermosillo - La Paz

Transponder	: Amplio (1W)
Polarización	: V/H
Disponibilidad	: 99.98%
Velocidad	: 34.368 Mbps
Modulación	: 16QAM
FEC	: 3/4
Bit Error Rate	: 1×10^{-8}
Eb/No	: 8.6 dB
Ancho de Banda	: 14.17 MHz
Ancho de Banda Asigando	: 18.00 MHz
Potencia de la Portadora	: 63.53 W
Frecuencia Central de la Portadora	: MHz

Tabla IV.6 Características de la Portadora La Paz - Hermosillo

Transponder	: Amplio (5W)
Polarización	: V/H
Disponibilidad	: 99.98%
Velocidad	: 34.368 Mbps
Modulación	: 8PSK
FEC	: 2/3
Bit Error Rate	: 1×10^{-8}
Eb/No	: 6.6 dB
Ancho de Banda	: 21.25 MHz
Ancho de Banda Asigando	: 26.10 MHz
Potencia de la Portadora	: 21.43 W
Frecuencia Central de la Portadora	: MHz

Tabla IV.7 Características de la Portadora Hermosillo - San José del Cabo

Transponder	: Amplio (6W)
Polarización	: V/H
Disponibilidad	: 99.98%
Velocidad	: 34.368 Mbps
Modulación	: 8PSK
FEC	: 2/3
Bit Error Rate	: 1×10^{-8}
Eb/No	: 6.6 dB
Ancho de Banda	: 21.25 MHz
Ancho de Banda Asigando	: 26.10 MHz
Potencia de la Portadora	: 75.68 W
Frecuencia Central de la Portadora	: MHz

Tabla IV.8 Características de la Portadora San José del Cabo - Hermosillo

Transponder	: Angosto (2N)
Polarización	: H/V
Disponibilidad	: 99.98%
Velocidad	: 8.448 Mbps
Modulación	: 8PSK
FEC	: 2/3
Bit Error Rate	: 1×10^{-8}
Eb/No	: 6.6 dB
Ancho de Banda	: 6.41 MHz
Ancho de Banda Asigando	: 6.50 MHz
Potencia de la Portadora	: 30.07 W
Frecuencia Central de la Portadora	: MHz

Tabla IV. 9 Características de la Portadora La Paz - San José del Cabo

Transponder	:	Angosto (4N)
Polarización	:	H/V
Disponibilidad	:	99.98%
Velocidad	:	8.448 Mbps
Modulación	:	8PSK
FEC	:	2/3
Bit Error Rate	:	1×10^{-8}
Eb/No	:	6.6 dB
Ancho de Banda	:	6.41 MHz
Ancho de Banda Asigando	:	6.50 MHz
Potencia de la Portadora	:	34.46 W
Frecuencia Central de la Portadora	:	MHz

Tabla IV.10 Características de la Portadora San José del Cabo - La Paz

En resumen, el ancho de banda total para el proyecto es:

Sumario de Ancho de Banda					
Hermosillo - La Paz		La Paz - Hermosillo			
24.5	+	18	=	42.5	MHz
Hermosillo - SJC		SJC - Hermosillo			
26.1	+	26.1	=	52.2	MHz
La Paz - SJC		SJC - La Paz			
6.5	+	6.5	=	13	MHz
TOTAL			=	107.7	MHz

Fig. IV.8 Resumen del ancho de banda para el proyecto APEC.

De acuerdo a la información de las figuras anteriores, el resumen de las portadoras utilizadas para este sistema es:

PROGRESSIVE UNITY NEC		Origen	Destino	Transponde r	Polarización	Antena Origen [m]	Antena Destino [m]	Velocidad de Portadora [Mbps]	Modulación	FEC	B.E.R.	Eb/No	Ancho de Banda por Portadora [KHz]	Ancho de Banda Asignado por Satmex [KHz]	Potencia Efectiva de Transmisión [Watts]
1 . 1 .	Hermosillo	La Paz	Amplio	VH	9.3	6.3	34.368	16QAM	3/4	1*10-8	8.6	14,171.32	24,500.00	27.44	
1 . 2 .	La Paz	Hermosillo	Amplio	VH	6.3	9.3	34.368	16QAM	3/4	1*10-8	8.6	14,171.32	18,000.00	63.53	
1 . 3 .	Hermosillo	SJC	Amplio	VH	9.3	6.3	34.368	8PSK	2/3	1*10-8	6.6	21,256.97	26,100.00	21.43	
1 . 4 .	SJC	Hermosillo	Amplio	VH	6.3	9.3	34.368	8PSK	2/3	1*10-8	6.6	21,256.97	26,100.00	75.68	
1 . 5 .	La Paz	SJC	Angosto	HV	6.3	6.3	8.448	8PSK	2/3	1*10-8	6.6	6,416.88	6,500.00	30.87	
1 . 6 .	SJC	La Paz	Angosto	HV	6.3	6.3	8.448	8PSK	2/3	1*10-8	6.6	6,416.88	6,500.00	34.46	
													TOTAL	107,700.00	

Tabla. IV.11 Resumen de Cálculos de Enlace.

El preliminar de la asignación de frecuencias por parte de SATMEX es:

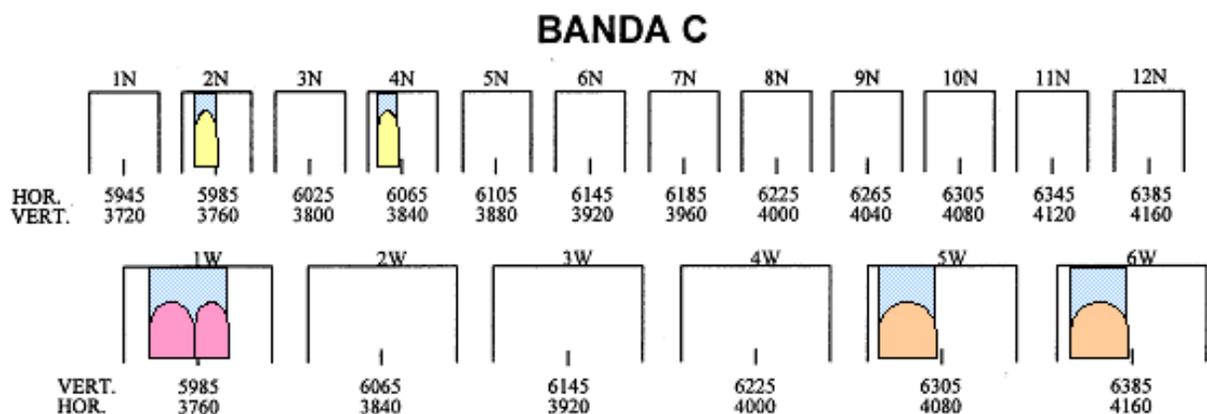


Fig. IV. 9 Asignación de frecuencias

4.2.1 Consumo de Potencia Eléctrica de los Equipos.

El total del consumo de potencia eléctrica de acuerdo a la Estación Terrena es la siguiente:

Equipo	Cant .	Consumo Unitario (KVA) No Interrumpible 1 Fase	Consumo Unitario (KVA) Interrumpible 1 Fase	Subtotal en Consumo No Interrumpible (KVA)	Subtotal en Consumo Interrumpible (KVA)
Modulador	2	0.2	-	0.4	-
Demodulador	2	0.2	-	0.4	-
TOTAL				0.8	-

Tabla IV.12 Consumo de Potencia Eléctrica de la Estación Terrena de Hermosillo

Equipo	Cant .	Consumo Unitario (KVA) No Interrumpible 1 Fase	Consumo Unitario (KVA) Interrumpible 1 Fase	Subtotal en Consumo No Interrumpible (KVA)	Subtotal en Consumo Interrumpible (KVA)
Motores	1	-	3.0	-	3.0
ACU	1	0.2	-	0.2	-
Transceiver	2	2.0	-	4.0	-
Modulador	2	0.2	-	0.4	-
Demodulador	2	0.2	-	0.4	-
TOTAL				5.0	3.0

Tabla IV.13 Consumo de Potencia Eléctrica de la Estación Terrena de La Paz

Equipo	Cant .	Consumo Unitario (KVA) No Interrumpible 1 Fase	Consumo Unitario (KVA) Interrumpible 1 Fase	Subtotal en Consumo No Interrumpible (KVA)	Subtotal en Consumo Interrumpible (KVA)
Motores	1	-	3.0	-	3.0
ACU	1	0.2	-	0.2	-
Transceiver	2	2.0	-	4.0	-
Modulador	2	0.2	-	0.4	-
Demodulador	2	0.2	-	0.4	-
TOTAL				5.0	3.0

Tabla IV.14 Consumo de Potencia Eléctrica de la Estación Terrena de San José del Cabo

4.3 Características Técnicas de los Equipos Suministrados

En esta sección se muestran las características y especificaciones técnicas más importantes de los equipos que operarán en el nuevo sistema de RF de la Estación Terrena Maestra de banda Ku.

4.3.1 KXC63. Antena Semi-Maestra de 6.3m para banda C

Las Estaciones Semi-Maestra cuentan con una antena de 6.3 metros de diámetro tipo Cassegrain de reflector paraboloide y sub-reflector hiperboloide con alimentador y estructuras de soporte para altos vientos.

Los paneles del reflector principal están fabricados de aluminio y protegidos con estructuras del mismo material rompivientos. La estructura del pedestal que sostiene la antena está fabricada de acero, la cual se fija a una base de concreto.

La antena cuenta con 4 puertos: 2 para la transmisión y 2 para la recepción, en polaridades alternas cada uno de los cuatro. La polarización bajo la cual trabaja

la antena es lineal, así que las polarizaciones de los puertos son horizontales y verticales.

Esta antena está diseñada para soportar altos vientos (200 km/hr en cualquier posición y 288 en posición de supervivencia).

<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>
Especificaciones Eléctricas	
Ganancia de la Antena	
- Transmisión	
3.625 / 5.850 GHz	50.40 dB
4.000 / 6.138 GHz	50.80 dB
4.200 / 6.425 GHz	51.20 dB
- Recepción	
3.625 / 5.850 GHz	45.50 dB
4.000 / 6.138 GHz	46.40 dB
4.200 / 6.425 GHz	47.10 dB
Temperatura de Ruido de la Antena	
5° de elevación	51 °K
10° de elevación	43 °K
20° de elevación	37 °K
40° de elevación	34 °K
Aislamiento de Polarización Cruzada	
- Sobre eje	35 dB
- Dentro de 1 dB del Áng. de Máx. Rad.	35 dB
G/T típica a 20° de elevación con cielo desp.	
- 35°K LNA	27.6 dB/K
- 50°K LNA	26.6 dB/K
VSWR	
- Tx	1.25:1
- Rx	1.25:1
Aislamiento de Puerto de Tx-a-Rx	
	30dB

Potencia Máxima de Radiación	10 KW C.W.
Especificaciones Mecánicas	
Diámetro de la Antena	6.3 metros, tipo foco primario. Cassegrain
Movimiento de Azimut	0 a 90° continuos
Movimiento de Elevación	0 a 50° continuos
Tasa de Movimiento en Azimut	0.6° por seg.
Tasa de Movimiento en Elevación	0.6° por seg.
Peso	
- Reflector	612 Kg
- Pedestal	771 Kg
Estructura	
- Reflector	Aluminio
- Pedestal	Acero
Especificaciones Ambientales	
Vientos	200 km/hr en cualquier posición 288 km/hr en posición de supervivencia
Temperatura	-15 °C a 50 °C (-30 °C a 60 °C de supervivencia)
Humedad	Hasta 100% con condensación
Soporte de Lluvia	Hasta 10 cm/hora
Radiación Solar	1000 Kcal/hr/m ²

Tabla IV.15 Especificaciones Técnicas de la Antena Terrena de 6.3m de para Banda C

4.3.2 HPCST5000. Transreceptor SSPA de 150W/65°K (LNA incluido)

La unidad transreceptora es aquella encargada de los procesos de las señales de RF e IF. En este contexto, la unidad transreceptora contiene un amplificador de alta potencia, un amplificador de bajo ruido, un convertidor de subida y un convertidor de bajada para banda C.

El amplificador de alta potencia es el equipo encargado de amplificar la señal proveniente del convertidor de subida de frecuencia intermedia y darle la fuerza necesaria para enviarla hasta el satélite de órbita estacionaria. Este amplificador tiene la capacidad de 150W de potencia bruta y pertenece a la tecnología SSPA. El SSPA de este transreceptor está separado del módulo de conversión y control (RFT). La configuración de esta unidad es sin redundancia (1+0).

El amplificador de bajo ruido tiene la función de amplificar y filtrar el mayor ruido posible proveniente de otros sistemas o del mismo espacio. Este amplificador tiene la capacidad de 65°K de potencia bruta y pertenece a la tecnología LNA. El LNA de este transreceptor está separado del módulo de conversión y control (RFT). La configuración de esta unidad es sin redundancia (1+0).

Las unidades de conversión de subida y bajada están incluidas en la RFT, que a su vez tienen módulos de control para su programación. Los convertidores de frecuencia tienen un ancho de banda en IF de 140MHz.

<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>
Especificaciones Eléctricas	
Rango de Frecuencia	
- Tx	5.850 a 6.400 GHz en pasos de 2.5MHz
- Rx	3.625 a 4.200 GHz en pasos de 2.5MHz
Potencia de Salida (bruta)	150 Watts (75W efectiva)
Potencia de Salida en P _{1dB}	+51 dBm
Ganancia (señal pequeña)	+82 dB
Ancho de Banda en IF	140MHz ± 36MHz
Temperatura de Ruido del LNA	65°K
Caída de Ganancia	1.5 dB / 36 MHz max.
Estabilidad en la Ganancia	
- 5 °C a +45 °C	±1.5 dB max.
Conversión AM/PM	2.5 °/dB max.
Productos de Intermodulación	34 dB abajo de dos portadoras iguales cada una con una potencia de salida de 6 dB de back-off de salida desde el intervalo potencia.
	26 dB abajo de dos portadoras iguales cada una con una potencia de salida de 3 dB de back-off de salida desde el intervalo potencia.
Retraso de Grupo	
- Lineal	0.02 ns/MHz max.
- Parabólico	0.003 ns/MHz ² max.
Interfaz de RF	
- Rx	N hembra
- Tx	CPR-137G
Interfaz de IF	
- Rx	BNC hembra
- Tx	BNC hembra
Figura de Ruido	Menos de 10 dB
Relación de Espurias y Armónicas	-60 dBc min.
Requerimientos Primarios de Potencia	
Voltaje	90 a 265 VAC, 47 a 63 Hz
Consumo de Potencia	Aprox. 1,000 W
Especificaciones Ambientales	
Temperatura	-40 °C a 50 °C
	(-50 °C a 70 °C de supervivencia)
Humedad	Hasta 95%, no condensamiento

Tabla IV.16 Especificaciones Técnicas del Transreceptor SSPA 150W / 65°K para banda C

4.3.3 SDM 2020M. Modulador

La unidad moduladora es la encargada de codificar y modular la señal entrante de los equipos de banda base del usuario.

El modulador tiene una trama de 34Mbps y puede modular en 8PSK y en 16QAM. La interfaz tanto a los equipos de banda base del usuario como para el convertidor de subida es BNC hembra (75 ohms) con interfaz eléctrica G.703.

<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>
Especificaciones Eléctricas	
Velocidad de Información	1.5 a 100 Mbps en pasos de 1bps, dependiendo de la interfaz
Formato de Transmisión	EN 300 421 (QPSK) prEN 301 210 (8PSK opcional) prEN 301 210 (16QAM opcional)
Inner FEC	QPSK: 1/2 , 2/3, 3/4, 5/6, 7/8 8PSK: 2/3, 5/6, 8/9 16QAM: 3/4, 7/8
Outer FEC	Reed Solomon 188/204
Salida de IF Tx	50 a 90 y 100 a 180 MHz, en pasos de 2.5 MHz -20 a +5 dBm, en pasos de 0.1 dB 75 ohms con 18 dB de pérdidas de retorno BNC hembra
Espúreas en la Tx con Portadora Modulada	-55 dBc mín. En un ancho de banda de 4.4 KHz.
Requerimientos Primarios de Potencia	
Voltaje	100 a 240 VAC, 50 a 60 Hz
Consumo de Potencia	40W típica, 65W máx.
Especificaciones Ambientales	
Temperatura	0 °C a 50 °C (-40 °C a 70 °C de supervivencia)
Humedad	Hasta 95%, no condensada

Tabla IV.17. Especificaciones Técnicas del Modulador.

4.3.4 SDM 2020D. Demodulador

La unidad demoduladora es la encargada de decodificar y demodular la señal entrante de los equipos de IF y RF y es enviada para su procesamiento a los equipos de banda base del usuario.

El demodulador tiene una trama de 34Mbps y puede modular en 8PSK y en 16QAM. La interfaz tanto a los equipos de banda base del usuario como para el convertidor de subida es BNC hembra (75 ohms) con interfaz eléctrica G.703.

<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>
Especificaciones Eléctricas	
Velocidad de Información	1.5 a 100 Mbps en pasos de 1bps, dependiendo de la interfaz
Formato de Transmisión	EN 300 421 (QPSK) prEN 301 210 (8PSK opcional) prEN 301 210 (16QAM opcional)
Inner FEC	QPSK: 1/2 , 2/3, 3/4, 5/6, 7/8 8PSK: 2/3, 5/6, 8/9 16QAM: 3/4, 7/8
Outer FEC	Reed Solomon 188/204
Entrada de IF Tx	50 a 90 y 100 a 180 MHz, en pasos de 2.5 MHz C = -57+10log(Msym/s) dBm 75 ohms con 18 dB de pérdidas de retorno BNC hembra
Requerimientos Primarios de Potencia	
Voltaje	100 a 240 VAC, 50 a 60 Hz
Consumo de Potencia	40W típica, 65W máx.
Especificaciones Ambientales	
Temperatura	0 °C a 50 °C (-40 °C a 70 °C de supervivencia)
Humedad	Hasta 95%, no condensada

Tabla IV.18 Especificaciones Técnicas del Demodulador

4.3.5 Lista del Equipo suministrado

A continuación de lista el equipo suministrado por NEC para el proyecto.

No.	Descripción	Marca	Modelo	Cantidad
1	Unidad de Control de la Antena	Vertex	7134	1
2	Unidad Transreceptora de 150W SSPA, 65K LNA, para banda C.	Comtech	HPCST5000	2
3	MODEM de alta velocidad con interfaz G.703, modulación 8PSK y velocidades de 1.544, 2.048, 6.312, 8.448, 32.064, 34.368, 44.736 ó 51.84 Mbps.	Comtech	SDM 2020	2
4	Materiales de Instalación.	---	---	1
5	Servicios de Instalación de los Equipos Suministrados	---	---	1

Tabla IV.19 Lista de Equipamiento de para la Estación Terrena de La Paz.

No.	Descripción	Marca	Modelo	Cantidad
1	Unidad de Control de la Antena	Vertex	7134	1
2	Unidad Transreceptora de 150W SSPA, 65K LNA, para banda C.	Comtech	HPCST5000	2
3	MODEM de alta velocidad con interfaz G.703, modulación 8PSK y velocidades de 1.544, 2.048, 6.312, 8.448, 32.064, 34.368, 44.736 ó 51.84 Mbps.	Comtech	SDM 2020	2
4	Materiales de Instalación.	---	---	1
5	Servicios de Instalación de los Equipos Suministrados	---	---	1

Tabla IV.20 Lista de Equipamiento de para la Estación Terrena de San José del Cabo

No.	Descripción	Marca	Modelo	Cantidad
1	MODEM de alta velocidad con interfaz G.703, modulación 8PSK y velocidades de 1.544, 2.048, 6.312, 8.448, 32.064, 34.368, 44.736 ó 51.84 Mbps.	Comtech	SDM 2020	2
2	Materiales de Instalación.	---	---	1
3	Servicios de Instalación de los Equipos Suministrados	---	---	1

Tabla IV.21 Lista de Equipamiento de para la Estación Terrena de Hermosillo

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Este trabajo de tesis da una visión de manera general de las comunicaciones vía satélite abordando los temas con un poco de profundidad para dar a los estudiantes de Ingeniería Mecánica Eléctrica, las herramientas y conceptos que deben cubrir para la especialidad de comunicaciones.

El objetivo de este trabajo de tesis se cumplió puesto que durante el desarrollo del mismo, hemos conocido el sistema de satélites con que cuenta nuestro país, así como una de sus aplicaciones.

Un satélite de comunicaciones, en esencia, es un repetidor de señales de radio en el espacio. Las señales enviadas por las estaciones terrenas son recibidas por el satélite, son amplificadas y regresadas a la tierra. La característica primordial de un satélite es que puede manejar grandes cantidades de Información abarcando grandes regiones de la Tierra.

La comunicación vía satélite es un medio confiable que podemos utilizar en donde las condiciones geográficas no permiten el uso de otro medio de comunicación como fibra óptica, microondas y/o cableado telefónico.

El diseño de una estación terrena que accederá al satélite, es una tarea que el Ingeniero Mecánico Electricista desempeña en sus funciones de campo, debe considerar muchas variables, por lo tanto considerable atención debe presentar a preguntas de aspecto económico como de diseño del enlace a establecerse.

Estas variables son:

Número de portadoras a cursar

Ancho de banda requerido

Potencia de transmisión por portadora a cursar desde cada estación

Diámetro de la antena de la estación

Potencia y ancho de banda del canal

Ganancia del transpondedor

Disponibilidad del servicio requerido y requerimientos de funcionalidad

Características de la señal (tipo de modulación, codificación, etc)

La comunicación vía satélite tiene las siguientes características:

Multidestino, las señales vía satélite pueden ser recibidas simultáneamente por muchas estaciones en áreas muy extensas desde el punto de vista geográfico, así las comunicaciones pueden ser distribuidas en cualquier parte dentro de la cobertura del satélite.

Flexible, considerando la capacidad del segmento espacial, las necesidades del usuario puede ser satisfechas en términos de confiabilidad, disponibilidad y requerimientos por consideraciones de crecimiento.

Retardo a diferencia de los enlaces terrestres, los enlaces vía satélite sufren retardo en el tiempo del orden de 270 milisegundos entre una antena transmisora y una receptora.

Los requerimientos de tráfico en cualquier red deben quedar plenamente identificados para poder seleccionar óptimamente el nivel de ocupación del segmento espacial, así como el dimensionamiento adecuado de las estaciones terrestres de la red.

La estación de contingencia que hemos descrito en este trabajo de tesis, es un medio esencial que ayudará a permitir la comunicación entre las ciudades de La Paz y Cabo San Lucas con el resto del país cuando se lleguen a presentar desastres naturales como los acontecidos en septiembre del 2001 por el huracán Juliette que alcanzó la categoría IV de la escala Saffir-Simpson, dejando completamente incomunicada la península de Baja California Sur, debido a los cortes existentes de fibra óptica, cables telefónico, sistema eléctrico y vías carreteras.

La estación de contingencia que hemos descrito en este trabajo de tesis, ha servido para cubrir eventos de cobertura mundial como el evento acontecido durante el 2002 APEC, donde presidentes de otros países asistieron.

La estación de contingencia soportará eventos meteorológicos como huracanes hasta clase IV, tiene capacidad para enlaces de 8 Mbps y 34 Mbps, con una potencia de 150W

Anexo fotográfico

Galería de imágenes de obra civil en La Paz, BCS.



Nivelado de anclas



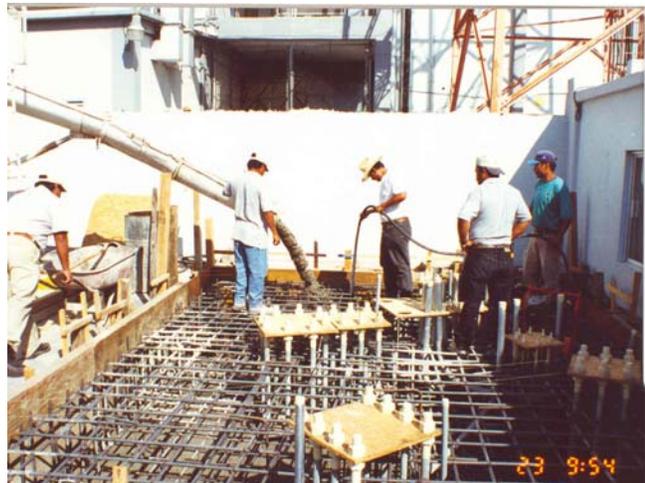
Soldado de anclas



Instalación de ductería



Soldado final de anclas antes de agregar concreto



Colado de concreto



Acabado de base de concreto



Galería de imágenes de obra civil en San José del Cabo, BCS.



Base de antena previa al colado de concreto, las anclas ya están niveladas



Soldado de anclas previas al colado de concreto



Colado de concreto con uso de máquina de bombeo debido al poco espacio para entrada de camiones



Vista panorámica de la base de antena



Base de concreto terminada



Nivelado de base de postes



Desembarque de antena



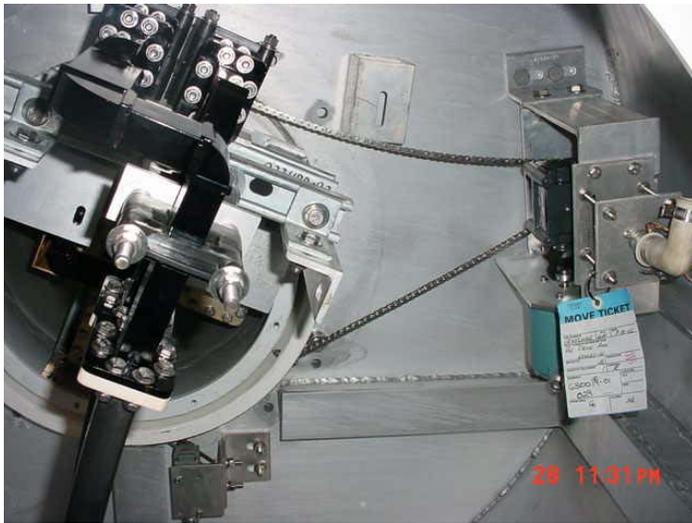
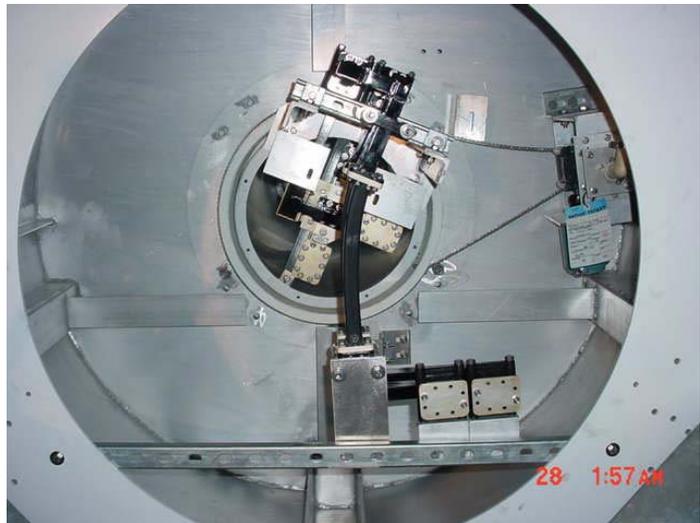
Montaje de soporte principal



Montaje del alimentador de la antena parabólica



Armado de plato y cubierta exterior



Detalle de interior de center HUB



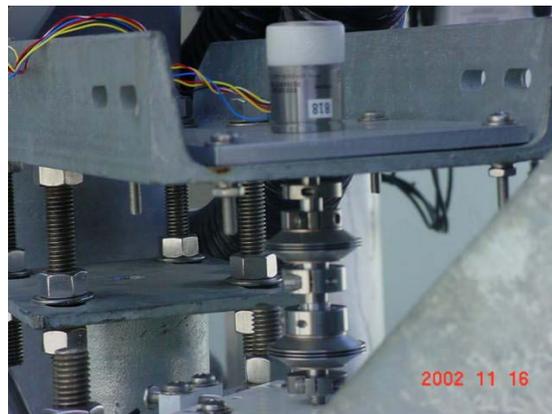
Montaje de amplificadores



Alineación de poste de antena y calibración de detectores de ángulo



Instalación de guía de onda y ajuste del subreflector



Montaje de unidad automática de control y detectores de ángulo



Montaje de MODEMS y ACU



Estación terminada y situación actual de la estación

Glosario

GLOSARIO

ABERTURA

Diámetro del plato en una antena parabólica.

ABERTURA ANGULAR DE POTENCIA MITAD (DEL HAZ DE UNA ANTENA)

La abertura angular completa entre dos puntos en el haz de una antena, que se encuentren 3 dB por debajo de la cresta del haz principal.

ACCESO MÚLTIPLE POR DETECCIÓN DE PORTADORA (CSMA)

Uno de los protocolos y técnicas de acceso múltiple de la red de radiotransmisión de paquetes, donde una estación que desee transmitir, primero detecta (escucha) para determinar si se está efectuando otra transmisión. Si el medio de comunicación está ocupado, la estación se retira por un tiempo y luego trata de nuevo; cuando el medio está libre, la estación puede transmitir.

ACCESO MÚLTIPLE POR DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA (FDMA)

Un método para brindar acceso múltiple a un satélite de telecomunicaciones, en el que las transmisiones de una estación terrena determinada ocupan una banda de frecuencias particular asignada. En el satélite, las señales son amplificadas y transpuestas simultáneamente a una banda de frecuencias diferente y luego retransmitidas. La estación terrena identifica su canal de recepción conforme a su banda de frecuencias asignada en la señal del satélite.

ACCESO MÚLTIPLE POR DISTRIBUCIÓN EN EL TIEMPO (TDMA)

En el TDMA, a cada estación se le asigna periódicamente, en la misma portadora y dentro de una "trama", un periodo de tiempo (una "ráfaga"), durante el cual se emite una señal digital cargada por un multiplex a destinos múltiples. Cada estación corresponsal recibe esta ráfaga y extrae de ella sus canales digitales. El multiplexaje asociado al TDMA se realiza por distribución en el tiempo (TDM), y los canales telefónicos (o de transmisión de datos) se codifican digitalmente (por ej., PCM).

ACIMUT

Desplazamiento angular de un satélite, o una estrella, en un plano horizontal con respecto al polo norte real (el extremo superior del eje de rotación de la tierra, que está en dirección diferente al sentido que marca la brújula). Se mide en la dirección de las agujas del reloj.

ALIMENTADOR

Es el dispositivo que se pone en la boca de entrada de una guía de onda de microondas.

ALIMENTADOR DUAL

Un alimentador diseñado para captar las dos polarizaciones de campo eléctrico con que usualmente transmiten los satélites de comunicaciones, vertical y horizontal.

ALIMENTADOR ESCALAR

En platos de antena de microondas, el alimentador escalar es una serie de anillos metálicos concéntricos que se colocan en la boca del cuerno alimentador

(feedhorn), los cuales ayuda a capturar y enfocar hacia la guía de ondas las señales reflejadas por la superficie del plato.

ALINEACIÓN DE TRAMA

El estado en que la trama generada por el equipo receptor tiene una relación idónea de fase constante con la trama de la señal recibida, de modo que se pueda identificar cada intervalo de tiempo en cada trama.

AMPLIFICADOR DE BAJO RUIDO

En un sistema de comunicación por satélite, el amplificador de bajo ruido, es el preamplificador de banda ancha diseñado para acoplar las señales provenientes del alimentador y entregarlas al convertidor de bajada.

ANCHURA DE BANDA OCUPADA

Una anchura de banda tal que, por debajo de su límite de frecuencia inferior, y por encima de su límite de frecuencia superior, la potencia media contenida en cada gama es igual a 0,5 por ciento de la potencia total.

ANGULO DE MIRA

Es el ángulo que debe tener el plato en una antena de microondas, para poder enfocar o "ver" a un satélite.

ANTENA CASSEGRAIN

Es un plato que en el punto focal no tiene la usual guía de microondas y el amplificador LNA. En su lugar utiliza un segundo plato pequeño subreflector de forma hiperbólica, el cual desvía hacia el centro del plato principal las señales que la superficie de éste ha hecho incidir sobre el punto focal.

APOGEO

En una órbita elíptica de satélite, es el punto más alejado de la superficie terrestre.

AREA DE ILUMINACIÓN

En la superficie del plato reflector de una antena parabólica o esférica, el área de iluminación es la porción correspondiente a los puntos de incidencia cuyas señales alcanzan a entrar por la boca de alimentación de la guía de ondas y llegan hasta el amplificador LNA. Si el plato tiene un diámetro mayor que el diámetro del círculo del área de iluminación, entonces las ondas concentradas en el punto focal no son "vistas" por el pequeño electrodo captador de señal que hay en el fondo del la guía de ondas, Entre más cerca esté el alimentador del origen del plato reflector, menor será el área de iluminación. Las señales realmente aprovechadas son las que entran por el frente del alimentador.

BANDA BASE

La banda de frecuencias ocupada por la señal antes de que module la portadora (o subportadora) para formar la línea transmitida.

BANDA C

Banda de frecuencias usada para comunicaciones por satélite, con rango de 5.92 a 6.42 GHz cuando la señal sube desde la estación principal hacia el satélite, y con una banda de

3.7 a 4.2 GHz cuando dicha señal es reemitida desde éste hacia las estaciones terrenas receptoras.

BANDA L

La gama de frecuencias entre 0,39 y 1,55 GHz, pero algunas veces usada para incluye las frecuencias hasta 1,65 GHz para los servicios marítimos y aeronáuticos.

BANDA KU

Es un rango de frecuencias que se extiende desde 11.7 hasta 12.7 GHz. La porción de 11.7 a 12.2 GHz es para servicio de los satélites punto a punto y la porción de 12.2 a 12.7 GHz se utiliza para transmisiones al público.

BER (Bit Error Rate)

En transmisión de datos, BER es la medida del número de errores probables en un enlace de comunicaciones (data link). Por ejemplo, un BER de 1×10^{-6} significa un error en cada un millón de bits transmitidos.

CANAL

Es una banda o conjunto de frecuencias usadas para llevar señales de audio y/o video, datos. El ancho, o espectro de frecuencias, depende de la cantidad de información a ser transmitida.

CANAL DE ASIGNACIÓN

El canal de asignación (AC) es un canal de datos protegido contra los errores que conecta al DCME de transmisión con sus DCME corresponsales. El canal de asignación emite un mensaje de asignación que contiene 24 bits de información cada 24 ms. La misión principal del mensaje de asignación es informar al DCME distante de las conexiones establecidas en el DCME de transmisión.

CANALES DE SOBRECARGA

Capacidad de canales soporte adicionales generada utilizando codificación de VBR para minimizar o eliminar la mutilación competitiva de la DSI.

CENTELLEO IONOSFERICO

Fenómeno que afecta a las ondas de radio que se propagan por la ionosfera, produciendo fuertes fluctuaciones de corta duración en la amplitud, fase, ángulo de llegada y polarización de las señales recibidas.

C/N (Carrier to Noise)

Relación portadora contra ruido. Es la relación entre la potencia de la onda portadora recibida (señal +ruido) y la potencia del ruido en un ancho de banda dado, expresado en dB. Este factor está relacionado directamente con G/T (figura de mérito) y S/N (señal sobre ruido).

C/No (Carrier to Noise Density Ratio)

Relación densidad de portadora contra ruido. Similar a C/N, excepto que **No** se refiere al ruido por cada ciclo (Hz) del ancho de banda.

dB (decibel)

Es una unidad de medida de potencia de una onda, siempre relativa a la potencia de otra onda que sirve como unidad de comparación. El decibel es la décima parte de un Bel. Dos potencias difieren de 1 Bel cuando una de ellas es 10 veces superior a la otra.

DECLINACIÓN

Distancia de un astro, o de un punto cualquiera del cielo, al plano del ecuador. La declinación se expresa por el valor en grados (de 0 a 90) del arco del círculo mayor que pasa por el satélite o el astro, perpendicular al ecuador y llamado círculo de declinación.

DISTANCIA FOCAL

Es la longitud del centro de un plato parabólico a su punto focal. En un plato de antena parabólica, la distancia focal es equivalente a la mitad de la longitud existente entre el punto focal y la línea directriz de la curva.

DOWNCONVERTER

Parte encargada de convertir a una frecuencia intermedia (70 o 140 MHz) las señales de microondas captadas por una antena por satélite.

EIRP

Abreviatura inglesa para Effective Isotropic Radiated Power. Es la potencia irradiada en una dirección del espacio por una antena específica, comparada con la potencia irradiada por una antena isotrópica alimentada con una señal de 1 vatio de potencia. La isotrópica es una antena ideal que irradia igual energía en todas las direcciones del espacio. Se expresa en decibeles por vatio (dBW).

ELEVACIÓN

Es el desplazamiento angular de un satélite en el sentido vertical, con el horizonte terrestre considerado como línea de referencia para la elevación.

ENLACE ASCENDENTE

Un enlace radioeléctrico entre una estación terrena transmisora y una estación espacial receptora.

ENLACE DESCENDENTE

Un enlace radioeléctrico entre una estación espacial transmisora y una estación terrena receptora.

ENLACE ENTRE SATÉLITES

Un enlace radioeléctrico entre una estación espacial transmisora y otra receptora sin ninguna estación terrena intermedia.

ENLACE RF

Se considera que el enlace RF se extiende desde la salida del convertidor elevador en la estación terrena transmisora, hasta la entrada del convertidor reductor en la estación o estaciones terrenas receptoras.

ENLACE POR SATÉLITE

Un enlace entre una estación terrena transmisora y una receptora a través de un satélite.

EQUIPO PARA LAS COMUNICACIONES TERRESTRES

Unidades funcionales que convierten las señales de banda base en una portadora RF modulada (en la transmisión) e inversamente (en la recepción).

ESTACIÓN TERRENA TRANSPORTABLE

Una estación terrena diseñada para ser llevada o transportada fácilmente de un lugar a otro, pero que normalmente no opera mientras está en movimiento.

ESPECTRO ENSANCHADO

Técnica de modulación empleada para aumentar la inmunidad al ruido y la interferencia, en la que la señal de información, normalmente de banda angosta, es ensanchada sobre una banda de frecuencias relativamente ancha. Con este fin generalmente se utiliza un código de secuencia pseudoaleatoria, y el receptor correlacionada las señales para recuperar la información.

ESTABILIZACIÓN POR ROTACIÓN

Un método de estabilización en que el satélite, o una parte del mismo, gira sobre el eje del momento máximo de inercia a una revolución por segundo aproximadamente. Es preciso hacer rotar la antena o el subsistema de comunicaciones en sentido contrario.

FDM (Frequency-Division Multiplex)

Multiplexado por división de frecuencia. Es un método para transmitir dos o más señales por medio de una sola portadora. Para ello, el ancho total de banda para la portadora se divide en dos o más fajas de frecuencia subportadoras (canales), una para cada señal.

FIGURA DE MÉRITO

También llamado factor de mérito, es una relación para dar idea de la sensibilidad de un sistema de antena parabólica, basado en la comparación entre la ganancia del plato reflector y el ruido del sistema. Se escribe G/T , donde T es la temperatura de ruido del conjunto, en grados Kelvin, y G es la ganancia de recepción, medida en decibeles.

FIGURA DE RUIDO

Para un ancho de banda dado, en un amplificador de señal u otro sistema, la figura o factor de ruido es el cociente entre la potencia del ruido a la salida y la potencia del ruido en la entrada. En otras palabras, es el resultado de dividir S/N (salida) entre S/N (entrada).

GEOESTACIONARIO

Que gira alrededor de la tierra con su misma velocidad de rotación, y que por consiguiente parece estar quieto en el espacio.

GRUPO DIGITAL N-ARIO

Varios grupos digitales primarios o PCM reunidos por multiplaje digital para formar una señal compuesta de velocidad binaria especificada, en ambas direcciones de transmisión. Un grupo digital secundario puede comprender cuatro grupos digitales primarios o PCM para formar una señal compuesta con una velocidad binaria de 8.448 ó 6.312 kbitios/s.

GRUPO PRIMARIO

Consta de un enlace en grupo primario conectado en cada extremo a equipo terminal. El equipo terminal permite establecer un número de canales telefónicos (generalmente 12), uno o más canales de transmisión de datos o de facsímil, etc.

HAZ PRINCIPAL

El lóbulo principal del diagrama de radiación de una antena.

INCLINACIÓN ORBITAL

El ángulo entre el plano de la órbita de un satélite y el plano de referencia principal. Por convención, la inclinación de una órbita directa de un satélite es un ángulo agudo.

INTERFERENCIA SOLAR

Un fenómeno que ocurre durante el equinoccio vernal u otoñal, cuando el Sol está aproximadamente alineado con el satélite, visto desde la estación terrena. Esto aumenta el ruido solar en los receptores de la estación terrena, reduciendo la relación señal/ruido durante un máximo de unos diez minutos al día por varios días.

INTERVALO DE TIEMPO

Cualquier intervalo de tiempo cíclico que se puede reconocer y definir en forma única.

KLISTRÓN

Un tubo de modulación de velocidad que comprende, en principio, un resonador de entrada, un espacio de agrupamiento y un resonador de salida.

LÍNEA VISUAL

Un enlace radioeléctrico entre dos antenas visibles entre sí.

MODULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO DE AMPLITUD (ASK)

El tipo de modulación en que la amplitud de una señal portadora de alta frecuencia es desplazada entre dos o más valores en respuesta al código de impulsos.

MODULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO DE FRECUENCIA (FSK)

Dos valores binarios aparecen representados por dos frecuencias diferentes próximas a la frecuencia portadora y generalmente desplazadas de la frecuencia portadora en cantidades iguales pero opuestas.

MODULACIÓN POR IMPULSOS CODIFICADOS (PCM)

El tipo de modulación en que se muestrea la magnitud de la señal y cada muestra es aproximada a un nivel de referencia más cercano (véase cuantificación), tras lo cual se transmite un código, que representa el nivel de referencia. Un ejemplo típico es la PCM que utiliza 256 niveles de referencia y un código de 8 bits.

MODULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO DE FASE (PSK)

La forma de modulación de fase en que la función moduladora desplaza la fase instantánea de la onda modulada entre valores discretos determinados previamente.

MODULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO DE FASE CUADRIVALENTE (QPSK)

Esta es la modulación por desplazamiento de fase con dos componentes de portadora con 90 grados de separación en fase y que, mediante funciones de modulación separadas, da lugar a cuatro estados de fase posibles.

MODULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO MÍNIMO (MSK)

Un método coherente de modulación/demodulación por desplazamiento de frecuencia (FSK), conocido también como Modulación por desplazamiento rápido de la frecuencia (FFSK), en que la fase en la forma de onda modulada es continua y el desplazamiento de frecuencia es tal que existe una diferencia de medio ciclo en un intervalo de un bitio.

MULTITRAMA

Una serie de tramas consecutivas en que la posición de cada trama se puede identificar con referencia a una señal de alineación de multitramas.

ÓRBITA ECUATORIAL

Una órbita de satélite cuyo plano coincide con el del ecuador de la Tierra.

ÓRBITA DE LOS SATÉLITES GEOESTACIONARIOS (GSO)

La órbita única de todos los satélites geoestacionarios.

ÓRBITA INCLINADA

Una órbita de satélite que no es ni ecuatorial ni polar.

ÓRBITA POLAR

Una órbita de satélite cuyo plano contiene el eje polar de la Tierra.

PERIGEO

El punto de la órbita de un satélite terrestre situado a la distancia mínima del centro de la Tierra.

POLARIZACION

Sentido que lleva el campo eléctrico en la onda electromagnética.

REDUCCIÓN DE POTENCIA DE SALIDA

La relación (en dB) entre el nivel de la potencia de salida de un amplificador de alta potencia en el punto de saturación, y el nivel de salida en el punto de funcionamiento.

RED DE SATÉLITE CON REUTILIZACIÓN DE FRECUENCIAS

Una red de satélite en la que éste utiliza la misma banda de frecuencias más de una vez, ya sea mediante la discriminación por polarización de la antena, antenas de haces múltiples (discriminación espacial), o ambas.

REDUCCIÓN DE POTENCIA DE ENTRADA

La relación (en dB) entre el nivel de la potencia de entrada de un amplificador de alta potencia en el punto de saturación, y el nivel de entrada en el punto de funcionamiento.

RED DE SERVICIO LOCAL (LAN)

Red local de uso general que puede atender a una gran variedad de dispositivos. Las LAN admiten minicomputadoras, computadoras centrales, terminales y demás equipo periférico. En muchos casos, estas redes pueden cursar no solo datos, sino también telefonía, vídeo y gráficos.

RUIDO

Cualquier perturbación mecánica o eléctrica no deseada. Toda señal parásita, acústica o electromagnética, que modifique la transmisión de la información.

RUIDO TERMICO

Es el ruido de fondo que se agrega en todos los medios de transmisión y equipos de comunicaciones como resultado del movimiento errático de los electrones por causa de la temperatura.

SATÉLITE GEOESTACIONARIO

Un satélite cuya órbita circular se encuentra sobre el plano del ecuador de la Tierra y gira en torno a esta en su misma dirección y con el mismo periodo de rotación. Este tipo de satélite parece estar fijo en relación con la Tierra.

SATÉLITE DE HACES MÚLTIPLES

Un satélite con un sistema de antenas que produce haces múltiples (algunos de los cuales son orientables) para brindar una cobertura geográfica discreta de la Tierra. Este tipo de satélite reutiliza las frecuencias mediante la separación espacial (aislamiento).

SATÉLITE TERRESTRE GEOSÍNCRONO

Un satélite cuyo periodo de revolución sideral media es igual al periodo de rotación sideral de la Tierra en torno a su propio eje (23 horas, 56 minutos y 4,09 segundos).

SCPC (Single Channel Per Carrier)

Un solo canal por cada portadora. Es un sistema de transmisión por satélite que emplea una portadora separa para cada canal.

SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN POR SATÉLITE

Un servicio de radiocomunicación en que las señales transmitidas o retransmitidas por una estación espacial están destinadas a ser recibidas directamente por el público en general.

SEGMENTO ESPACIAL

El satélite y sus trayectos conexos de transmisión RF hacia las estaciones terrenas.

SIN RETORNO A CERO (NRZ)

Una forma de código con dos estados denominados cero y uno, y sin condición neutral o de reposo.

S/N (Signal to Noise)

Relación señal sobre ruido. Es el cociente que indica la potencia de una señal con respecto al nivel de ruido involucrado en la misma. Usualmente se expresa en decibeles

TRAMA

Un conjunto repetitivo de intervalos de tiempo consecutivos que constituyen un ciclo completo de una señal en la que se puede identificar la posición relativa de cada intervalo de tiempo en el ciclo.

TEMPERATURA DE RUIDO

La temperatura equivalente T (en grados Kelvin) de un sistema con una potencia de ruido disponible de kT dBW por anchura de banda unitaria (k = constante de Boltzmann = - 228,6 dBW/kHz).

TRANSPONDEDOR DE SATÉLITE

Un canal de satélite (asociado a una anchura de banda determinada) que recibe señales por el enlace ascendente, las filtra y transpone sus frecuencias, y luego las amplifica antes de retransmitirlas por el enlace descendente.

VELOCIDAD BINARIA

Velocidad de transmisión digital, medida en bitios (o múltiplos) por segundo (kilobitios por segundo, megabitios por segundo, etc.).