



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ARAGÓN"**

**"CÁLCULOS PARA UN ENLACE FIJO
SATELITAL"**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE :
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
ÁREA: ELÉCTRICA - ELECTRÓNICA
P R E S E N T A :
JUÁREZ REYES OCTAVIO

**DIRECTOR DE TESIS:
ING. ELEAZAR MARGARITO PINEDA DÍAZ**

MÉXICO, D.F.

ABRIL DE 2004



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

QUIERO AGRADECER A TANTAS PERSONAS QUE DE ALGUNA FORMA CONTRIBUYERON A REALIZAR ESTE TRABAJO, QUE MENCIONO A CONTINUACIÓN:

EN PRIMER LUGAR QUIERO AGRADECER A MI PADRE JOSÉ JUÁREZ SOMERA QUIEN HIZO SU MEJOR ESFUERZO POR HACERME UN HOMBRE CREARME Y EDUCARME, "TE ECHO DE MENOS PAPA " ASÍ COMO A MI MADRE ROSA MARÍA REYES PEÑA POR SU AMOR, PACIENCIA Y DEDICACIÓN "AQUÍ ESTÁN PARTE DE SUS ANHELOS, ILUSIONES Y SACRIFICIOS MATERIALIZADOS EN ESTE TRABAJO DE TESIS". GRACIAS POR DARMÉ LA VIDA

A MI HERMANO LEONARDO JUÁREZ REYES POR SU AMISTAD, CARÑO Y RESPECTO QUE ME HAN IMPULSADO EN TODO MOMENTO

A MI TIO ANGEL JUÁREZ SOMERA POR TU GRAN NOBLEZA Y CALIDAD HUMANA QUE VIVEN EN MI CORAZÓN Y ES FUENTE DE INSPIRACIÓN Y DETERMINACIÓN

A MI TIA SOLEDAD REYES PEÑA POR TODA LA AYUDA PROPORCIONADA DESDE QUE TENGO USO DE RAZON, ESTE TRABAJO TAMBIEN ESTA DEDICADO A TI GRACIAS TIA.

A MIS PROFESORES

FIDEL (PRIMARIA) ALFREDO VARGAS(BACHILLERES), A LOS INGENIEROS ELEAZAR MARGARITO PINEDA DÍAZ, PABLO LUNA ESCORZA, ULISES MAURJOS TOVAR, ETOPIER BERMÚDEZ BERNARDO,, ABUNDIO LINARES.

A MIS AMIGOS (PIEZA FUNDAMENTAL DE MI FORMACIÓN)

GERARDO TÉLLEZ SANDOVAL, JORGE NAVARRO ROJO, EDGAR SALINAS VALDEZ, HORACIO DUPEYRON ENRÍQUEZ, JUAN JOSÉ BONILLA, DARÍO VÁZQUEZ PÉREZ, NANCY BERNAL NAVA, JORGE SALAZAR, ISRAEL MUÑOS RICARDO DE LA CRUZ MARTÍNEZ, DULCE MARÍA DE LA O ALBARRÁN, JOSÉ LUIS SANTILLÁN , ALBERTO RAMÍREZ PÉREZ , MIGUEL AGUILAR SOLÍS , DANIEL MARTÍNEZ MORIN, JULIO GONZÁLES, RICARDO JUÁREZ CASARRUBIAS, LETICIA SÁNCHEZ GARCÍA, ROSA ANGÉLICA VÁZQUEZ RIBERA

A LAURA MEDRANO NIEVES QUE ES MUY ESPECIAL PARA MI Y QUE ME A APOYADO EN MOMENTOS MUY DIFÍCILES GRACIAS POR TU PACIENCIA Y COMPRENSIÓN

INSTITUCIONES

A LA GERENCIA DEL CENTRO OPERATIVO MOVISAT
POR LAS FACILIDADES OTORGADAS PARA LA INVESTIGACIÓN DE ESTA TESIS EN
ESPECIAL A LAS SIGUIENTES PERSONAS:

A ULISES LÓPEZ ARRIAGA, JOSÉ ANTONIO MARTÍNEZ, VÍCTOR VANEGAS
MARTINES, GERARDO ÁVILA

POR ÚLTIMO, A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO Y A LA
ENEP ARAGÓN Y TODA LA GENTE QUE HAY DETRÁS DE TODA LA HISTORIA DE
LA UNAM GRACIAS POR BRINDARNOS UNA PUERTA AL VC CONOCIMIENTO.

Temario

Prefacio

Tema 1 Generalidades.

	Págs.	
1.1	Breve historia de las comunicaciones via satélite.	1
1.1.1	Tipos de orbitas satelitales.	2
1.2	Características de un enlace espacial.	5
1.2.1	Potencia radiada y potencia recibida de una antena.	6
1.2.2	Ganancia y superficie efectiva de la antena receptora.	8
1.2.3	Perdidas adicionales.	9
1.3	Temperatura de ruido.	10
1.3.1	Temperatura de ruido y factor de ruido en el receptor.	10
1.3.2	Temperatura de ruido de la antena.	11
1.3.3	Otras fuentes de ruido.	12
1.3.4	Temperatura de ruido un receptor precedido de un atenuador.	12
1.4	Factor de calidad G/T de una estación terrena.	13
1.5	Balance de Enlace.	14
1.5.1	Objetivos de Calidad.	14
1.5.2	Objetivos de disponibilidad.	16
1.6	Ruido de intermodulación en el transpondedor.	17
1.7	Tipos de zonas de cobertura de la tierra.	21
1.8	Uso y rehusó de frecuencias.	26
1.8.1	Atribución de bandas de frecuencia.	26
1.9	Disponibilidad del servicio.	32
1.10	Formas de interferencia.	35
1.10.1	Posibles modos de interferencia.	35
1.10.2	Modos de interferencia entre estaciones de distintos sistemas espaciales con utilización unidireccional de frecuencias.	36
1.10.3	Modos de interferencia entre estaciones de distintos sistemas espaciales con utilización bidireccional de frecuencias.	36
1.10.4	Condiciones de propagación en los trayectos de interferencia.	37
1.11	Disposición del reglamento de comunicaciones.	37
1.12	Configuración de una Estación Terrena	38
1.12.1	Configuración y principales funciones	38
1.12.2	El sistema de antena.	38
1.12.3	Amplificadores de bajo ruido.	40
1.12.4	Amplificadores de Potencia.	41
1.12.5	Equipo de Telecomunicación.	43
1.12.6	Equipo para el proceso de la señal.	45
1.12.7	Equipo de multiplexación y demultiplexación.	46
1.13	Configuración del satélite	47
1.13.1	La estructura.	47
1.13.2	Sistema de control térmico.	48
1.13.3	Control de altitud.	48
1.13.4	Alimentación de energía	52
1.13.5	Telemidida-telemando y telemetría	55
1.13.6	El motor de apogeo.	55

1.13.7	Características de la carga útil de algunos satélites de comunicaciones	56
1.13.8	Sistema de comunicaciones.	57
Tema 2 Parámetros a calcular para un enlace.		
2.1	Introducción.	61
2.2	Parámetros Preliminares.	64
2.2.1	Parámetros de la antena. Ganancia de antena, interferencias y temperatura de ruido de antena.	64
2.2.2	Polarización.	71
2.2.3	Factor de calidad en la recepción.	73
2.2.4	Modelo de propagación, (Parámetros de Atenuación por efectos Atmosféricos, Atenuación debida a los gases atmosféricos y las nubes, Centelleo troposférico, Rotación del plano de polarización provocada por la Ionosfera, Despolarización en cielo despejado).	75
2.2.6	Temperatura de ruido total del sistema (ruido térmico, Ruido de interferencias y Observación sobre la interferencia solar.	81
2.2.7	Características del sistema de acceso TDMA, FDMA SCPC Y CDMA	83
2.2.8	Temperatura de ruido del satélite.	84
2.3	Datos del enlace.	86
2.4	Cálculos preliminares.	87
2.4.1	Ancho de banda.	87
2.4.2	Ángulo de azimut.	88
2.4.3	Ángulo de elevación.	90
2.4.4	Distancia entre E/T y el Satélite	90
2.5	Parámetros del enlace ascendente.	90
2.5.1	Relación portadora a densidad de ruido ascendente.	91
2.5.2	Relación C/N ascendente	91
2.5.3	Relación C/I Intermodulación ascendente	91
2.5.4	Relación C/X polarización cruzada	92
2.5.5	Relación C/X ady .	92
2.5.6	Relación portadora a ruido ascendente del sistema.	92
2.6	Parámetros del enlace descendente.	93
2.6.1	Relación portadora a densidad de ruido descendente.	93
2.6.2	Relación portadora a ruido (C/N) descendente.	94
2.6.3	Relación C/I descendente.	94
2.6.4	Relación C/X satélite adyacente.	94
2.6.5	Relación C/X polarización cruzada descendente.	95
2.6.6	Relación C/N descendente total.	95
2.7	Evaluación del enlace.	95
2.7.1	Relación C/N total del sistema Ascendente y descendente.	96
2.7.2	Relación C/N requerida.	96
2.7.3	Margen de enlace..	96
2.7.4	Potencia consumida por la portadora den el satélite.	96

Tema 3 Cálculo de enlace para una unida fija (ejemplo práctico) .

3.1	Introducción	98
3.2	Cálculos Preliminares.	98
3.2.1	Parámetros de la antena. Ganancia de antena, interferencias y temperatura de ruido de antena.	98
3.2.2	Polarización.	100
3.2.3	Factor de calidad en la recepción.	101
3.2.4	Modelo de propagación, (Parámetros de Atenuación por efectos Atmosféricos, Atenuación debida a los gases atmosféricos y las nubes, Centelleo troposférico, Rotación del plano de polarización provocada por la Ionosfera, Despolarización en cielo despejado).	101
3.2.6	Temperatura de ruido total del sistema (ruido térmico, Ruido de interferencias y Observación sobre la interferencia solar.	102
3.2.7	Características del sistema de acceso	
	TDMA, FDMA SPCY Y CDMA	103
3.2.8	Temperatura de ruido del satélite.	103
3.3	Datos del enlace.	104
3.3.1	Datos del satélite.	104
3.3.2	Datos de la señal a transmitir	104
3.3.3	Datos de la estación transmisora y receptora.	105
3.3.4	Datos de transmisión	106
3.4	Cálculos preliminares.	106
3.4.1	Ancho de banda.	106
3.4.2	Ángulo de azimut.	107
3.4.3	Ángulo de elevación.	107
3.4.4	Distancia entre E/T y el Satélite	108
3.5	Parámetros del enlace ascendente.	110
3.5.1	Relación portadora a densidad de ruido ascendente.	110
3.5.2	Relación C/N ascendente	111
3.5.3	Relación C/I Intermodulación ascendente	111
3.5.4	Relación C/X polarización cruzada	112
3.5.5	Relación C/X sat ady .	112
3.5.6	Relación C/N ascendente total.	113
3.6	Parámetros del enlace descendente.	113
3.6.1	Relación portadora a densidad de ruido descendente.	113
3.6.2	Relación portadora a ruido (C/N) descendente.	115
3.6.3	Relación C/I Intermodulación descendente.	115
3.6.4	Relación C/X polarización cruzada descendente.	115
3.6.5	Relación C/X satélite adyacente.	116
3.6.6	Relación C/N descendente total.	116
3.7	Evaluación del enlace.	117
3.7.1	Relación C/N total del sistema Ascendente y descendente.	116
3.7.2	Relación C/N requerida.	117
3.7.3	Margen de enlace..	117
3.7.4	Potencia consumida por la portadora den el satélite.	118

Conclusiones	119
Apéndice A huellas del satélite	127
Apéndice B plan de frecuencias del satélite	147
Apéndice C Parámetros del satélite	150
Apéndice A parámetros de localidades del satélite	153
Glosario de Términos y abreviaturas.	160
Bibliografía.	171

Prefacio

Dentro de la carrera de Ingeniero Mecánico Eléctrico, con especialidad en el Área Eléctrico-Electrónica, existe la especialidad en telecomunicaciones y dentro de las mismas están las comunicaciones de radio, microondas y satélites.

Las telecomunicaciones vía satélite, son el tema abordado en la presente tesis, primordialmente se debe a que no hay una guía que ayude al estudiante de ingeniería a comprender con mayor sencillez este tipo de comunicación; la bibliografía que se encuentran en el mercado manejan términos bastante complejos.

En el caso de México, no existen suficientes textos en la materia de comunicaciones vía satélite, debidas a la gran cantidad de información y conceptos que se deben tener para poder entender este tipo de comunicación y enfrentarse a la realidad del campo de trabajo y el desempeño profesional del Ingeniero.

De ahí que el objetivo de esta tesis se circunscribe en dar un panorama general del procedimiento del cálculo de enlace para el estudiante de ingeniería en comunicaciones, recayendo la investigación en el caso específico de cálculo de enlace, teniendo como propósito que este material sirva como una guía que pueda ayudar a los futuros Ingenieros de una manera sencilla.

Los lectores e interesados en esta rama de la Ingeniería encontraran en el tema uno los conceptos básicos de un sistema de comunicaciones vía satélite, los tipos de sistemas satelitales existentes, la estructura básica del satélite, la carga útil, la estructura de la estación terrena transmisora y receptora, el tipo de orbitas que trabajan, (en este caso son los geoestacionarios, orbitas bajas y orbitas medias); los diferentes tipos de enlace y servicios satelitales.

El sistema satelital se engloban en el segmento espacial y terrestre que son los grandes bloques que forman el mencionado sistema.

Mientras que en el tema dos se concentran los conceptos enfocados al cálculo de enlace, en los cuales se incluyen características de la estación terrena tales como el tipo de antena isotropica, el tipo de zona hidrometereológica en donde se encuentran las estaciones a enlazar, los datos de la señal a transmitir, los características de los amplificadores de potencia en función al tipo de acceso satelital y el número de portadoras que se manejen.

También el medio de propagación, el cual es el espacio libre y es donde se generan la mayor cantidad perdida de la señal útil, debido a las diversas características que presenta este medio dentro de las cuales está el tipo de región donde cruza la señal en el caso de la troposfera y ionosfera, que afecta de manera distinta a la señal y el

mismo satélite el cual tiene diferentes servicios en bandas de operación que operan con diferentes frecuencia polarización y tipo de acceso.

De ahí el motivo por el cual hay que hacer varias consideraciones en los valores que se tomaran de las tablas que proporciona el sistema satelital así como de las condiciones climáticas que influyen mucho dependiendo de la banda de operación el sistema que se estará empleando en este tema es el Solidaridad.

En el tema número 3, para una mayor comprensión de este tema, se da un ejemplo real que aterriza gran parte de los conceptos; sin embargo, debido al avance de la tecnología y la gran cantidad de información queda la tesis en carácter de introductoria, es decir, se proporcionara una vista general para poder entender las nuevas tecnologías en el rubro de las comunicaciones vía satélite que tienen las mismas bases, con sus características propias de cada tipo de red satelital.

Asimismo, se da un ejemplo real de enlace entre dos ciudades de nuestro país: Guadalajara y Monterrey; utilizando la red de satélites mexicanos Solidaridad, en el caso específico del solidaridad 2 en la banda de operación Ku con una polarización horizontal -Vertical para un enlace de voz- y datos digital.

Hay que hacer mención de que en este ejemplo de enlace, se muestra de una manera sencilla, a la vez que sirve de introducción debido a que hay parámetros, los cuales son datos que los fabricantes proporcionan en tablas, tal es el caso de las antenas, los amplificadores de bajo ruido y de potencia, los módems.

En otros casos son valores típicos que se repiten, en el caso de la eficiencia de las antenas y los ángulos de desapuntamiento. En este punto no se va abordar de manera completa el procedimiento para sacar todos esos valores, debido a que no es el fin de esta tesis.

Tema 1 Generalidades.

1.1 Breve Historia de las Comunicaciones vía satélite

En 1945 el escritor británico de ciencia ficción *Arthur C. Clark* en octubre de 1945 publicó en la revista británica *Wireless World* el artículo titulado *"Extra-Terrestrial Relays"*, en el cual incluía la propuesta de un sistema de comunicación global utilizando estaciones espaciales hechas por el hombre.

"Un satélite artificial a la distancia apropiada de la tierra puede hacer una revolución cada 24 horas, esto es, podría parecer estacionario sobre un punto de la superficie de la Tierra, y tendría un rango óptico de casi la mitad de la superficie terrestre. Tres estaciones repetidoras, con una separación de 120 entre sí, pueden dar cobertura de señales de radio y microondas a todo el planeta".



Figura 1-1 escritor británico de ciencia ficción *Arthur C. Clark*

Este sueño comenzó a transformarse en realidad con el desarrollo del primer satélite artificial: el SPUTNIK (satélite o *compañero de viaje* en ruso), el cual fue lanzado en octubre de 1957 en una órbita elíptica de baja altura. Este satélite sólo emitía un tono intermitente, y estuvo en funcionamiento durante 21 días, marcando así el inicio de la era de las comunicaciones vía satélite.

Probablemente el primer satélite repetidor totalmente activo fue el COURIER, lanzado por el Departamento de Defensa de los EU. en octubre de 1960. Este transmitía conversaciones y telegrafía, y aunque solo duró 70 días fue el primer satélite que usó celdas solares.

El SYNCOM 3 fue el primer satélite de órbita geoestacionaria, lanzado por la NASA en febrero de 1963 desde los EU. Entre otras

aplicaciones, se utilizó para transmitir los Juegos Olímpicos de 1964.

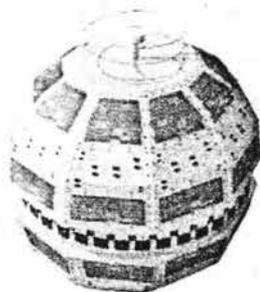


Figura 1-2 El INTELSAT I mejor conocido Pájaro madrugador o Early Bird fue el primer satélite internacional de órbita geosíncrona, lanzado por el consorcio internacional INTELSAT desde los EU. en abril de 1965, y colocado sobre el Océano Atlántico.

El sistema MOLNIYA relámpago en ruso fue la primera red satelital domestica, y fue lanzado en 1967 por la Unión Soviética, consistía en una serie de 4 satélites en órbitas elípticas con una cobertura de 6 horas por satélite.

1.1.1 Tipos de órbitas satelitales

Aproximadamente tres cuartas partes del costo de un satélite está asociado a su lanzamiento y a su mantenimiento en órbita.

La mecánica orbital, es aplicada a los satélites artificiales, la cual está basada en la mecánica celeste, una rama de la física clásica, la cual comenzó con dos gigantes de la física: *Kepler* y *Newton* durante el siglo diecisiete. *Lagrange*, *Laplace*, *Gauss*, *Hamilton*, y muchos otros, también contribuyeron al refinamiento matemático de la teoría, empezando con las nociones básicas de la gravitación universal, las leyes de *Newton* del movimiento, y los principios de conservación de la energía y el *momentum*.

Las 3 leyes de *Kepler* y las leyes de gravitación universal y del movimiento se describen brevemente a continuación:

Las propiedades fundamentales de las órbitas son resumidas por las tres leyes del movimiento planetario de Kepler. Kepler descubrió esas tres leyes empíricamente, basadas en conclusiones de notas de extensas observaciones de Marte por *Tycho Brahe*. A través de estas leyes se estableció el movimiento planetario con respecto al sol; éstas son igualmente aplicables a los satélites con respecto a la tierra y son un buen punto de partida.

1. La órbita de cada planeta (satélite) es una elipse con el sol (tierra) en uno de sus focos. El punto de la órbita en el cual el planeta está más cerca del sol se denomina *perigeo*, y el punto donde está más lejos del sol se le denomina *apogeo*.
2. La línea que une al sol (tierra) al planeta (satélite) barre áreas iguales en tiempos iguales.
3. El cuadrado del periodo de revolución es proporcional al cubo de su eje mayor.

Las primeras dos leyes fueron publicadas en 1609 y la tercera en 1619.

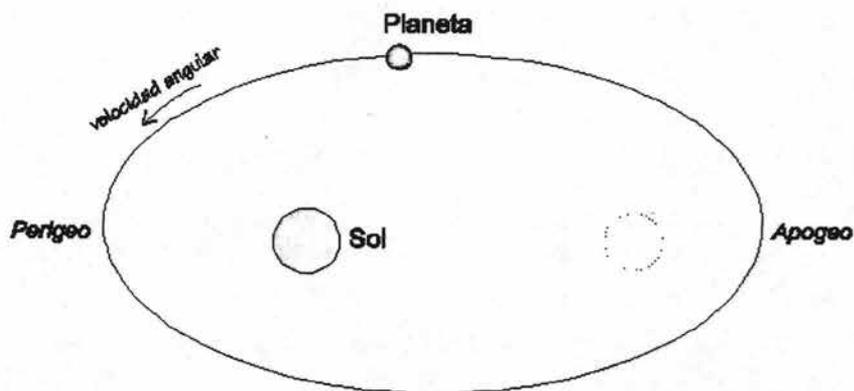


Figura 1-3 Apogeo y perigeo de una trayectoria orbital celeste

Las leyes fundamentales de la física de la teoría de la mecánica orbital esta basada en la Ley de la gravitación universal y la segunda ley del movimiento de Newton. La ley de la gravitación

universal establece que la fuerza de atracción entre dos cuerpos varía de acuerdo al producto de sus masas M y m e inversamente al cuadrado de la distancia r entre ellas y es dirigida a lo largo de una línea que conecta sus centros

Donde G es la constante de gravitación universal. La segunda ley de Newton nos dice que la aceleración de un cuerpo es proporcional a la fuerza que actúa en ella e inversamente proporcional a sus masas. *Estas leyes fueron publicadas en 1687.*

Dos satélites en la misma órbita no pueden tener diferentes velocidades. Para las órbitas circulares, la velocidad es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de su radio. Si un satélite, inicialmente en una órbita circular sobre la tierra, se le es incrementada su velocidad por un impulso, no podrá moverse más rápido en esa órbita. En vez de eso, la órbita se convertirá en elíptica, con el perigeo en el punto donde ocurra el impulso.

Existen varios tipos de órbitas de los satélites artificiales los cuales se clasifican de acuerdo a:

- Su distancia de la Tierra (*geoestacionaria, geosíncrona, de baja altura, de media altura y excéntricas*).
- Su plano orbital con respecto al Ecuador (*ecuatorial, inclinada y polar*).
- La trayectoria orbital que describen (*circular y elíptica*).
- **Órbita Geosíncrona:** Es una órbita circular con un periodo de un día sideral. Para tener este periodo la órbita debe tener un radio de 42,164.2 Km. (desde el centro de la tierra).
- **Órbita Geoestacionaria (GEO):** Este tipo de órbita posee las mismas propiedades que la geosíncrona, pero debe de tener una inclinación de cero grados respecto al ecuador y viajar en la misma dirección en la cual rota la tierra. Un satélite geoestacionario aparenta estar en la misma posición relativa a algún punto sobre la superficie de la Tierra, lo que lo hace muy atractivo para las comunicaciones a gran distancia.
- **Órbita de Baja Altura (LEO):** Estas órbitas se encuentran en el rango de 640 Km. a 1,600 Km. entre las llamadas región de

densidad atmosférica constante y la región de los cinturones de Van Allen. Los satélites de órbita baja circular son muy usados en sistemas de comunicaciones móviles.

- *Órbitas de Media Altura:* Son las que van desde 9,600 Km. hasta la altura de los satélites geosíncronos. Los satélites de órbita media son muy usados también en las comunicaciones móviles.
- *Órbita Ecuatorial:* En este tipo de órbita la trayectoria del satélite sigue un plano paralelo al ecuador, es decir tiene una inclinación de 0.
- *Órbitas Inclínada:* En este curso la trayectoria del satélite sigue un plano con un cierto ángulo de inclinación respecto al ecuador.
- *Órbitas Polar:* En esta órbita el satélite sigue un plano paralelo al eje de rotación de la tierra pasando sobre los polos y perpendicular la ecuador.
- *Órbitas circulares:* Se dice que un satélite posee una órbita circular si su movimiento alrededor de la tierra es precisamente una trayectoria circular. Este tipo de órbita es la que usan los satélites geosíncronos.
- *Órbitas elípticas (Monlniya):* Se dice que un satélite posee una órbita elíptica si su movimiento alrededor de la tierra es precisamente una trayectoria elíptica. Este tipo de órbita poseen un perigeo y un apogeo.

1.2 Características de un enlace

Un enlace de telecomunicaciones por Satélite esta diseñado para proporcionar , lo más económicamente posible ,conexiones fiables de buena calidad entre dos puntos fijos ,móviles o la combinación de estos. 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 degradada dicha calidad. Ello significa que la potencia recibida de la portadora de radiofrecuencia debe ser mayor que la potencia de ruido en una magnitud adecuada. Esta relación, expresada en decibelios, es la relación portadora /ruido (C/N) del

enlace. Su valor requerido varía de acuerdo con el sistema que se quiera utilizar (fijo o móvil),

Para calcular en la banda base de un enlace espacial, es necesario conocer la calidad del radioenlace en radiofrecuencia C/N , es decir el valor de la relación entre la potencia de la portadora C , modulada recibida y la potencia de ruido N , el calculo de la relación C/N es la finalidad del balance de enlace.

1.2.1 Potencia radiada y potencia recibida por una antena

Supongamos una antena transmisora en el espacio libre, supongamos también que la antena es isotropica, es decir que radia una onda uniformemente en todas direcciones. En este caso, la potencia suministrada a la antena por el amplificador de potencia (HPA) se distribuye uniformemente en la totalidad del plato de la antena. La densidad de flujo de potencia (DFP.) es la potencia radiada por la antena en una dirección dada una distancia suficientemente grande D por la unidad de superficie $4\pi r^2$ puede expresarse así:

$$D_{fp} = \frac{P}{4\pi r^2} \text{ W/m}^2 \dots\dots\dots \text{Ecuación 1-1}$$

Para las telecomunicaciones espaciales la antena transmisora tiene que concentrar la potencia en de una dirección específica en el espacio, que para las antenas del satélite es la dirección de la zona que ha de ser cubierta y para las antenas transmisoras es la dirección del satélite.

Esta propiedad se mide por medio de la ganancia absoluta, G de la antena en la dirección considerada, que es igual a la relación entre la potencia que ha de suministrarse a una antena isotropica y la potencia que ha de suministrarse a la antena considerada a fin de poder obtener la misma densidad de flujo de potencia en la misma distancia en dicha dirección.

La Densidad de Flujo de potencia radiada en una dirección dada por una antena que tiene una ganancia G_a en esa dirección es, por lo tanto:

$$(Dfp)_i = \frac{P * G_a}{4\pi d^2} \dots\dots\dots [w/dB/m^2] \dots\dots \text{Ecuación 1-2}$$

El producto $P * G_a$ se denomina P.I.R.E (Potencia Radiada Isotrópica Efectiva). Tiene la dimensión de una potencia y, por tanto, cuando se expresa en unidades logarítmicas ($P + G_a$) se indica en dBW.

Consideramos ahora la antena receptora que tiene una superficie efectiva A_{efec} y que la densidad de flujo de potencia que alcanza esta antena es igual a: la ecuación 1.2, se tendría la siguiente potencia de recepción

$$P_r = PIRE * G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \dots\dots\dots [dBW] \dots\dots \text{Ecuación 1-3}$$

Donde:

G_R : ganancia de la antena receptora

λ : longitud de onda utilizada en el enlace

El inverso de $(4\pi d/\lambda)^2$ de la ecuación 1.3 Representa, la atenuación en el espacio libre entre antenas isotrópica quedando de la siguiente forma:

$$L_s = 20 \log \left(\frac{4\pi * d}{\lambda} \right)^2 \dots\dots\dots [dB] \dots\dots \text{Ecuación 1-4}$$

El valor de esta atenuación se encuentra en la Fig. 1.4 como una función de la frecuencia para la distancia de 36000 Km. (órbita de los satélites geostacionarios): esta atenuación es aproximadamente de 200 dB en las frecuencias de 6 Ghz...

Pérdidas por dispersión son las pérdidas que se dan por la naturaleza de una onda electromagnética, y esta en función de la distancia que recorre de la tierra al satélite localizado en la órbita geostacionaria a través del espacio libre que es el medio de propagación y esta dada por

$$L_p = 10 \log ((4\pi) (d^2)) \text{ Ecuación 1-5}$$

Donde d = es la distancia de la estación terrena al satélite

Si R es la distancia estación-satélite y Ro es la distancia punto subsatélite al satélite (Ro = 35 786 km) será:

$$L_p = \left[\frac{4\pi R}{\lambda} \right]^2 = \dots$$

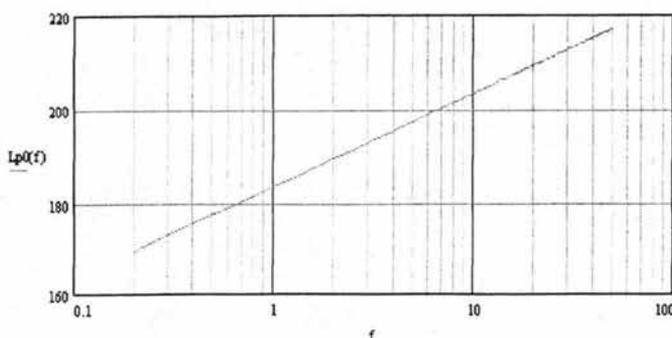


Figura 1-4 grafica de atenuación en función de la frecuencia

1.2.2 Ganancia y superficie efectiva de la antena receptora

Como se ha expuesto anteriormente, la potencia que llega a la antena receptora es proporcional a la densidad de flujo de potencia en el punto considerado. Y esta determinada por la ecuación 1.3

La ganancia de cualquier antena direccional puede expresarse en términos de su área efectiva, A_e y de la constante 4π

$$G_a = 4\pi \cdot A_e / \lambda^2 \dots \dots \dots \text{Ecuación 1-6}$$

En el caso más frecuente de una antena con una gran abertura perpendicular a la dirección de la ganancia máxima, la superficie efectiva A_{efec} es proporcional a la superficie radiante equipase A de esta apertura: el factor de proporcionalidad denominado eficacia de antena η esta comprendido, en la práctica entre 0.5 y 0.8. La expresión general de la ganancia es:

$$G_{ant} = \eta \left(\frac{4\pi \cdot \text{diametro}}{\lambda^2} \right)^2 \dots \text{ [dB]} \dots \dots \dots \text{Ecuación 1-7}$$

1.2.3 Pérdidas adicionales

Al igual que las pérdidas a la propagación en el espacio libre, los cálculos de la potencia recibida deben tener en cuenta:

La atenuación debida a la propagación en la atmósfera y la ionosfera. Esta puede variar de unas pocas décimas de decibelios en 4 GHz a varias decenas de:

- decibelios en 30 GHz, de acuerdo con las condiciones de la precipitación local y el ángulo de elevación del satélite;
- Las pérdidas debidas al desajuste de la polarización en el interfaz de las antenas y a la contra polarización en el interfaz de las antenas y a la despolarización causada por la propagación
- Las pérdidas debidas al desplazamiento de las antenas con respecto a la dirección nominal. Estas pueden expresarse generalmente en términos de un cambio de la ganancia de la antena como una función del ángulo fuera del eje $\Delta\theta$:

$$\Delta G = 12(\Delta\theta/\theta_r)^2 \text{ dB... [Grados].....Ecuación 1-8}$$

- $\zeta\theta_0$ es el ancho de haz a mitad de potencia en grados que puede calcularse aproximadamente por:
- θ_t es el ángulo de desajuste de la entre las antenas TX y Rx el valor típico entre 0.1 y 0.3 °

$$\theta_0 = 70\lambda / \text{dB}..... [\text{grados}]..... \text{Ecuación 1-9}$$

Donde:

λ = longitud de onda de la relación de la frecuencia de operación de la señal y la velocidad de una onda electromagnética en el espacio libre.

- Las pérdidas en el alimentador de la antena transmisora y entre la antena receptora y la entrada del receptor. Estas pérdidas suelen incluirse en la P.I.R.E. en transmisión y en sensibilidad de la estación de recepción.

Las pérdidas anteriores se muestran en la figura 1.5

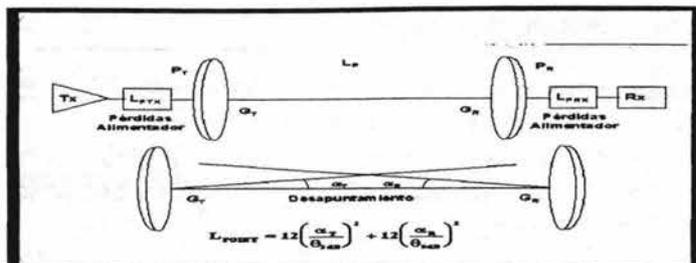


Figura 1-5 presentación de las pérdidas adicionales entre el transmisor, la antena y la antena del receptor.

La potencia de ruido a la entrada del receptor se debe tanto a una fuente interna (típica del receptor) como a una fuente externa (contribución de la antena) se puede determinar a partir de la temperatura de ruido.

1.3 Temperatura de Ruido

Al calcular el balance de enlace, el termino N_0 (Densidad espectral de Ruido en W/Hz) o el termino T (temperatura de ruido) se utilizan de preferencia a la potencia de ruido N, de modo que no es necesario especificar del ancho de banda B en la cual se mide el ruido. La relación entre estos términos está expresada en la ecuación

$$N = KTB \quad \text{Y} \quad N_0 = N/B \dots \dots \dots \text{Ecuación 1-101}$$

Donde k es la constante de boltzman ($1.38 \cdot 10^{-23}$ julios/°K). T debe expresarse en grados °k (Grados Celsius + 273)

$$N = -228.6 + 10 \text{ LOG} + 10 \text{ LOF B} \dots \dots \dots \text{Ecuación 1-11}$$

$$N_0 = -228.6 + 10 \text{ LOG} \dots \dots \dots \text{Ecuación 1-12}$$

1.3.1 Temperatura de Ruido y Factor de Ruido del receptor

El ruido causado por un receptor suele expresarse en términos de la temperatura de ruido equivalente Se te define como la temperatura de una fuente de ruido (resistencia) que, cuando está conectada a

la entrada del receptor, cuyas fuentes de ruido se supone que se han eliminado, da el mismo ruido a la salida que el receptor en cuestión.

El ruido causado por el receptor puede expresarse también por el factor de ruido F la relación entre T_e y F es:

$$T_e = (F-1)T_0 \dots\dots\dots [^\circ\text{k}] \dots\dots\dots \text{Ecuación 1-13}$$

Donde $T_0 = 290 \text{ }^\circ\text{k}$

Si F se expresa en dB, tiene que convertirse en su relación numérica equivalente cuando se aplica la ecuación 14

1.3.2 Temperatura de ruido de la antena

La temperatura de ruido de una antena es la suma del ruido externo recogido por la antena en la recepción. Por tanto, se expresa en términos de la siguiente integral:

$$T_A = \frac{1}{4} \iint g T(\mathbf{d}\Omega) \dots\dots\dots \text{Ecuación 1-14}$$

Donde:

$d\Omega$: ángulo sólido elemental en la dirección Ω

G y t ganancia de antena y temperatura de ruido equivalente de la fuente de ruido en esta dirección.

Las fuentes de ruido externas pueden dividirse en dos categorías:

- Ruido terrenal, que constituye la contribución predominante al ruido total y que se debe a la atenuación atmosférica (oxígeno, vapor de agua, niebla, nubes, lluvia) y al terreno,
- Ruido extraterrestre, procedente de estrella radioeléctrica, el sol, la luna y los planetas.

La temperatura de ruido de una antena grande suele ser de 30°k en condiciones de cielo despejado para un ángulo de elevación de 15° . Sin embargo, de hecho varía considerablemente con el ángulo de elevación, las condiciones meteorológicas y el diámetro de la antena.

1.3.3 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 determinado en los objetivos de calidad adoptados.

Estas emisiones pueden venir también de los mismos sistemas de satélite en forma de interferencias debida a transmisiones en canales adyacentes o a productos de intermodulación de transmisiones con polarización ortogonal causados 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 de 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 de ruido recibido en el extremo del enlace o asignando un margen mayor al fijar los objetivos de calidad.

1.3.4 Temperatura de ruido de un receptor precedido de un atenuador

En general, una unida de recepción consiste en un receptor precedido por un atenuador, que puede estar integrado por las pérdidas en la antena o en su línea de alimentación o incluso en el espacio entre la fuente de la señal y la antena.

La temperatura del atenuador y del receptor tomada en conjunto, con respecto a la entrada del receptor, se indica por la fórmula:

$$T = T_R + T_A(1 - 1/A) + T_s/A \dots\dots\dots [^\circ\text{k}] \dots\dots\dots \text{Ecuación 1-15}$$

Donde:

T_s : temperatura de ruido de la fuente,

T_R : Temperatura de ruido del receptor

T_A : Temperatura real del atenuador y

A: Pérdida debida al atenuador, expresada como una relación de potencias

Es evidente la importancia de reducir al mínimo las pérdidas procedentes de la línea de alimentación que conecta la antena al receptor.

Las antenas de estación terrena son grandes y por tanto muy direccionales. Como están apuntadas al satélite, la mayor parte del ruido que recogen viene del cielo. Por tanto, suelen tener una temperatura de ruido con tiempo despejado del orden de $30^{\circ} 0k$, y es conveniente utilizar receptores con una temperatura de ruido del mismo orden. En 4 Ghz, con un amplificador de bajo nivel de ruido paramétrico y enfriamiento termoeléctrico, T_R es típicamente de $35^{\circ}k$ y la temperatura de ruido global con tiempo despejado T es inferior a $100^{\circ}k$. Con un amplificador de bajo nivel de ruido no enfriado, T es del orden de $150^{\circ}k$

En las estaciones espaciales, el ancho de haz a mita de potencia θ_0 de las antenas receptoras a bordo suele ser inferior o igual al ángulo en el que la Tierra es visible desde el satélite. Por tanto, la temperatura de la antena es la de la tierra, es decir, unos $290^{\circ}k$. Además, los receptores a bordo de satélites tienen una temperatura de ruido de unos $700-900^{\circ}k$. de modo que la temperatura de ruido global suele estar aproximadamente entre 900 y $1200^{\circ}k$

1.4 Factor de Calidad (G/T) de una Estación Terrena

El factor de Calidad o también conocido como la Figura de Merito (G/T) de una estación receptora es la relación entre la ganancia Isotrópica de la antena Receptora en la dirección de la señal recibida y la temperatura de ruido equivalente referida al la entrada del recetor. Esta relación (G/T) se expresa generalmente en decibelios por Kelvin dB (k^{-1}).

En una frecuencia de 4Ghz, los valores del factor de calidad más corrientes varían de unos $41dB$ (k^{-1}) (para antenas de estación

terrenas de 30 metros de diámetro con un amplificador paramétrico enfriado) a 23 dB (k^{-1}) (para una antena de 4.5 metros de diámetro con un amplificador de transistor de efecto de campo (F.E.T.))

En 6 Ghz, cuando se utilizan amplificadores de receptor de transistor, los factores de calidad más corrientes varían de aproximadamente -19 dB (k^{-1}) (para una antena de estación espacial de cobertura global) a unos -3 dB (k^{-1}) (para una antena de estación espacial de haz filiforme).

1.2 Balance de enlace

La calidad del enlace obtenida se expresa después de la demodulación en términos de la relación señal /ruido. S/N en las transmisiones analógicas y por la proporción de bits erróneos en las transmisiones digitales. Así pues, la calidad depende de de la relación portadora temperatura de ruido, C/T, antes de la demodulación y en el proceso de modulación, y del funcionamiento real del equipo instalados (modem y filtros, etc.)

1.5.1 Objetivos de Calidad

La UIT establece los objetivos de calidad que han de cumplirse para los diversos tipos de servicio y los procesos de modulación empleados. Por lo general, establece tres umbrales de calidad que no deben de rebasarse durante más de un porcentaje de tiempo determinado (recomendaciones 353-4 y 522 para telefonía, recomendaciones 567-1 y 568 para televisión).

Para telefonía, analógica y digital estos umbrales de calidad se resumen en la tabla 1.1

	Telefonía Analógica	Telefonía Digital
Condiciones de Medición en un determinado tiempo.	Potencia de Ruido en el Nivel de Referencia	Proporción de Bits Erróneos
20de cualquier mes(valor medio durante 1 minuto)	10,000 pwop	10^{-6}
20de cualquier mes(valor medio durante 10 minutos)	50000pwop	10^{-4}
0.3de cualquier mes(valor medio durante 1 minuto)	1000000pWo(potencia no ponderada)	10^{-3}
0.01de cualquier mes(valor medio durante 5ms)		
0.01de cualquier mes(valor medio durante 1m)		

Tabla 1-1 calidad requerida para canales telefónicos

Debe señalarse que estas especificaciones pueden estar sujetas a modificaciones y que hay que consultar los textos más recientes de la U.I.T cuando se proyectan sistemas de telecomunicaciones por satélite.

Para televisión, los objetivos de calidad para todas las transmisiones de televisión a larga distancia y/o por satélite se tratan en la recomendaciones 567-1 y 568; esto es la relación señal a ruido (S/N) (ruido Ponderado) debe ser mayor o igual a 53 dB durante el 99.9% del tiempo y a 45 dB durante el 99.9% del tiempo. Sin embargo, estos objetivos de calidad se hallan generalmente asociados a los requisitos de los sistemas utilizados para la distribución de en redes de radiodifusión y no reflejan las practicas del diseño actuales de los sistemas de Satélite utilizados para una distribución más general, en particular a estaciones terrenas pequeñas. En estos últimos casos, la calidad subjetiva.

Es totalmente aceptable para la mayoría de los telespectadores, incluso cuando el nivel de calidad de diseño es de 40 dB aproximadamente.

Cuando se dispone de estadísticas para la atenuación debida a las condiciones atmosféricas, puede calcularse la relación señal/temperatura de ruido que se obtendrá, según las previsiones, a la entrada del receptor de la estación terrena durante los diversos porcentajes de tiempos especificados en los objetivos de calidad de la U.I.T. Se deduce entonces la relación señal/ruido, o la correspondiente proporción de Bits erróneos (B.E.R) y se verifica si el sistema satisface los criterios de calidad establecidos. Sin embargo, al efectuar el cálculo se debe dejar cierto margen para tener en cuenta la diferencia entre el comportamiento teórico y el real de los equipos, así como para cubrir cualquier deterioro de la señal o aumento del ruido (interferencia debida a otras redes, a la propagación por múltiples trayectos o a la transmisión en los canales adyacentes).

1.5.2 Objetivos de Disponibilidad

En un enlace por satélite establecido entre los extremos del circuito ficticio de referencia, debe de considerarse como indisponible si se producen una o más de las siguientes condiciones en cualquiera de los dos extremos receptores del enlace durante más de 10s consecutivos:

- En transmisiones analógicas, la señal deseada que entra en el circuito se recibe en el otro extremo con un nivel de 10 dB por lo menos debajo del previsto;
- En transmisiones digitales, hay una interrupción de la señal digital (es decir. Hay una pérdida de alineación de trama o de temporización);
- en transmisiones analógicas de un canal telefónico, la potencia de ruido no ponderada en el punto de nivel relativo cero con un tiempo de integración de 5ms, excede de $10^6 pW_0$;
- En transmisiones digitales la proporción de BIT erróneos excede de 10^{-3}

La Recomendación 579 estipula provisionalmente que la disponibilidad del enlace, que se define como (1- tiempo de

interrupción/tiempo requerido), debe de ser superior a 99.8% en un año, cuando se consideren solamente las interrupciones debidas a los equipos.

1.6 Ruido de intermodulación en el transpondedor

La pira. emitida por el amplificador de potencia del satélite o la estación transmisora según sea el caso está en función del nivel C_u (nivel de portadora) de la señal recibida a la entrada del receptor del satélite o estación terrena receptora , El dispositivo de amplificación del utilizado generalmente es un tubo de ondas progresivas(T.O.P.)en algunos casos el Klystron , en la figura 1.6 se da un ejemplo de la curva característica de entrada –salida de este tubo. La curva no es lineal, lo que significa que habrá ruido de intermodulación en el enlace descendente cuando varias portadoras sean amplificadas simultáneamente por el mismo transponder. La contribución de este factor a la relación portadora-ruido se expresa en términos de la relación portadora/temperatura de ruido de intermodulación. $(C/T)_i$.

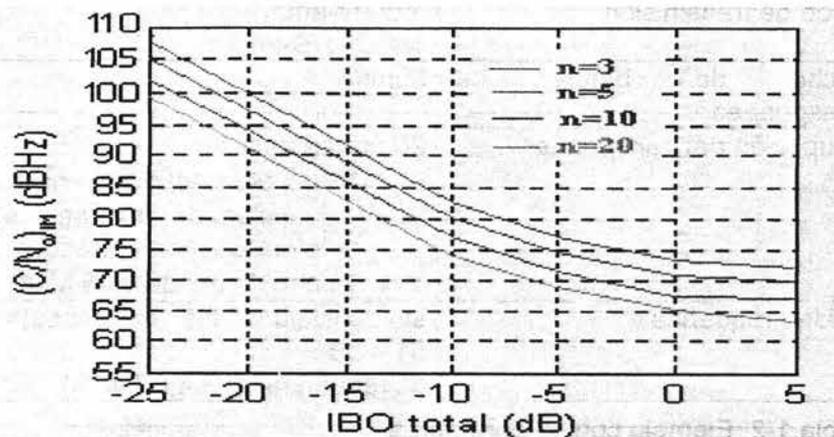


Figura 1-6 Comportamiento del amplificador El ruido de intermodulación se produce al operar en modo no lineal. Lo que ocurre es que la potencia de salida del transpondedor se reparte no sólo entre las portadoras, sino también entre los productos de intermodulación.

Este fenómeno es especialmente importante cuando se trabaja cerca de la zona de saturación (IBO=0 dB)

El nivel de ruido de intermodulación depende del número de portadoras emitidas, de su nivel relativo, del esquema de frecuencias seleccionado y del punto de funcionamiento del tubo de ondas progresivas (TOP). Cuando se conoce el valor de este ruido, se puede determinar un esquema de frecuencias que minimice su nivel en la banda de frecuencias de la señal deseada y calcular la reducción de la potencia de salida óptima del TOP

La optimización es necesaria teniendo en cuenta dos factores contradictorios: un momento de reducción de la potencia respecto a la saturación a la salida del TOP sirve para reducir el ruido de intermodulación y , aumenta por tanto la relación $(C/T)_i$; sin embargo, al mismo tiempo disminuye la potencia utilizable para el enlace descendente, y por tanto la relación $(C/T)_{DESCENDENTE}$ y al mismo tiempo se tendría una reducción de la potencia respecto a saturación a la entrada del TOP y una disminución de la relación $(C/T)_{up}$. En la tabla 1.2 y en el cuadro II se da un ejemplo de la optimización para el caso de varias portadoras en un solo transponder.

Modo de transmisión	mdf-mf-amdf 6/4 GHz(Banda c)
Ancho de banda del transpondedor	90mhz
Ocupación del transponder	20 portadoras: <ul style="list-style-type: none"> • todas ellas del mismo nivel • capacidad de 30 canales telefónicos, por portadora • ancho de banda 4.05 Mhz
calidad requerida	s/n (incluidos los márgenes)= 51.4 dB c/t requerida -157.4 dB(w ^o k)

Tabla 1-2 Ejemplo con 20 portadoras

La densidad de flujo de potencia (d.f.p) u transmitida por la estación terrena para la portadora particular considerada se calcula a menudo refiriéndose a la densidad de flujo de potencia máxima (d.f.p) máx., que corresponde a la saturación del transponder del satélite y que se incluye en las características de funcionamiento de la carga útil de comunicaciones del satélite. En el caso corriente de funcionamiento con múltiples portadora, esta (d.f.p) s máx utilizable se comparte entre todas las portadoras que se transmiten

simultáneamente a través del transponder. Además, se necesita en general cierta reducción de la potencia respecto a la saturación (especialmente en el caso del funcionamiento con múltiples portadoras) para explotar el transponder con una linealidad adecuada. Por consiguiente, una expresión general de la (d.f.p.) u en la fórmula 18ª para la portadora considerada es:

$$(d.f.p)u = \frac{(d.f.p)s_{\max}}{(b.o)si} - \sum i(d.f.p)ui_{-w/m2} \text{ Ecuación 1—16}$$

En esta expresión, se incluyen las sumatorias de las densidades de flujo de potencia de las demás portadoras que comparten el mismo transponder y (B.O) si BACK OFF es la reducción de la potencia respecto a saturación a la entrada del T.W.T del transponder

En el caso particular de N portadoras iguales en el transponder, esta expresión puede simplificarse y escribirse directamente como sigue:

$$(D.f.p) u = (Df.p.) s_{\max} - 10 \log. N - (B.O) \text{ si [dBW/m}^2 \text{] Ecuación 1-17}$$

Ahora, teniendo en cuenta la relación entre las reducciones de potencia respecto a saturación a la entrada y a la salida del transponder se puede determinar una nueva expresión para calcular la PIRE dada por las ecuaciones siguientes:

$$(P.ire)s = \frac{(Pire)s_{\max}}{(b.o)si} - \sum i(Pire)si_{-w} \text{ Ecuación 1—18}$$

$$(P.i.r.e.)_s = (P.i.r.e.)_s \text{ máx.} - 10 \log.N - (B.O) \text{ so. [dBW] Ecuación 1—19}$$

En este caso (Pire.) s máx. es la Pire del satélite en condiciones de saturación del transponder (su valor es una de las características de funcionamiento del satélite), (Pire) si es la suma de las P.I.R.E de las otras portadoras y (B. O)_{so} = 10log (B.O) so es la reducción de potencia respecto a la saturación a la salida del T.W.T del satélite

Además de las atenuaciones en el espacio libre, posiblemente hay que tener en cuenta las pérdidas atmosféricas al realizar los cálculos del balance de enlace. Estas pérdidas atmosféricas, que se producen a altas frecuencias (especialmente por encima de 10GHz) se deben principalmente a las precipitaciones y dependen, por tanto, de las condiciones meteorológicas locales.

Utilización de la órbita y tipos de zonas de cobertura para un satélite geoestacionario

Para la mayoría de las regiones del mundo, la órbita de los satélites geoestacionarios presenta una posición favorable para los satélites de telecomunicaciones. Un vínculo especial en esta órbita parece estar fijo con respecto a la superficie de la tierra, con lo cual se minimizan o eliminan los problemas de seguimientos de la antena de la estación terrena. Asimismo, la altitud de la O.S.G., de unos 36000 Km., proporciona la cobertura global de la superficie de la tierra. La limitación principal en cuanto a la cobertura es la zona por encima de 75° de latitud Norte o Sur. En la figura 1.7 se muestran los tipos de coberturas utilizados por INTELSAT.

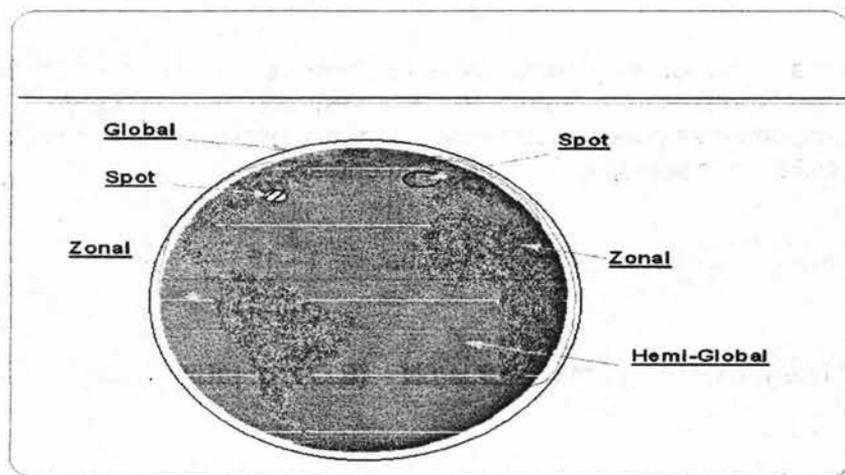


Figura 1-7 Tipos de coberturas utilizadas por INTELSAT

Las limitaciones prácticas del ángulo de elevación mínimo están influidas principalmente por la topografía o el campo de visibilidad no obstruido de la zona de servicio, el entorno meteorológico y la

frecuencia de la portadora del sistema de radio comunicaciones. Esta última es afectada principalmente por la atenuación atmosférica (precipitaciones intensas) de las señales radioeléctricas.

Para las frecuencias superiores a 10 Ghz, el nivel de atenuación de la señal puede ser más importante en función del ángulo de elevación requerido, de los márgenes de potencia del transmisor y/o del diseño del sistema.

Por ejemplo, un sistema de 6/4 Ghz puede ser operacional con un ángulo de elevación mínimo de 5 a ° mientras que en un sistema de 14/12 Ghz puede requerir un ángulo de elevación de 10 a 20°.

1.7 Tipos de Zonas de cobertura de la Tierra

La figura 1.8 muestra diagramas de cobertura típica para una antena de satélite de haz circular global centrada directamente en la vertical del satélite (apertura de 17.4° para un ángulo de elevación de 5°). En la practica, esta cobertura máxima de la tierra se útil sola mete para sistemas que requieren de cobertura global. Por ejemplo, algunos transpondedor de los satélites INTELSAT están conectados al haz global como se muestra en la figura 1.5 sin embargo, en la mayoría de los casos, las antenas del satélite están diseñadas para radiar haces con una apertura angular efectiva mucho mayor menor que el ángulo de la tierra subtiende en la orbita de los satélites geoestacionarios; estas antenas de haz estrecho o pincel deben de diseñarse de manera que la energía se concentre hacia la zona de servicio deseada y se suprima fuera de la misma, para mejorar la utilización de la órbita, las antenas de los satélites deben de diseñarse de manera que traten de lograr las siguientes características:

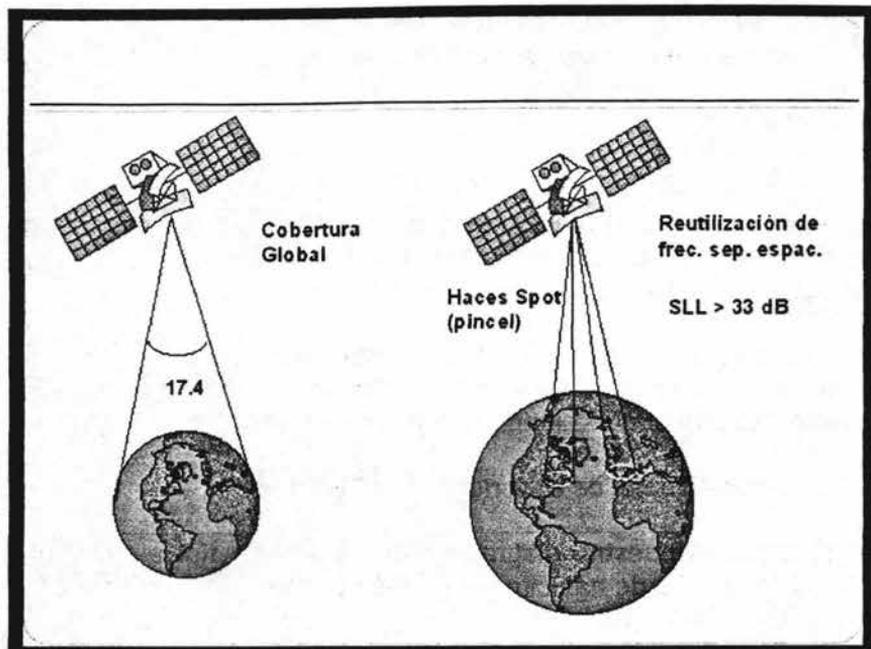


Figura 1-8 Diagrama de cobertura

- Los diagramas de radiación del lóbulo principal de la antena del satélite deben de estar conformados de modo que se ajusten lo más posible a la zona de servicio requerida (es conveniente la conformación del haz en el plano perpendicular al eje de propagación).
- El control de los lóbulos laterales fuera de la zona de servicio requerida. La utilización de técnicas para reducir el nivel de los lóbulos laterales y aumentar las pendientes de ganancia de la envolvente de los lóbulos laterales distantes es deseable, puesto que ello reducirá la interferencia y facilitará los problemas de coordinación con otras redes, a la vez que permitirá la utilización de antenas de satélites de haces múltiples.
- El diseño de las antenas de modo que el satélite pueda colocarse en otra posición en la órbita de los satélites geoestacionarios y proporcionar aun el funcionamiento requerido dentro de la zona de servicio.

Estos objetivos son muy difíciles de lograr y son mutuamente conflictivos. El tipo particular de antena utilizado dependerá de la frecuencia, el ancho de haz y de las características de la carga útil del vehículo de lanzamiento (tamaño físico y masa). Las anchuras de haz mínimas dependerán de la precisión con la cual pueda estabilizarse la altitud del satélite así como de las necesidades del servicio, tal como la zona de cobertura y reutilización de frecuencias. Los siguientes 4 tipos de coberturas de satélite son los utilizados más corrientemente:

- Cobertura Global: El lóbulo principal del haz de la antena cubre la tierra, rebasada ligeramente, Para este tipo de cobertura suelen utilizarse antenas de bocina
- Coberturas simples, circulares o elípticas, con anchura de haz comprendidas entre 5 y 10 °. Para este tipo de cobertura suele utilizarse un reflector parabólico alimentado en el foco. La utilización de reflectores con alimentación excéntrica disminuye considerablemente el nivel de los lóbulos laterales radiados por la antena.
- Las coberturas simples estrechas se denominan cobertura de haz puntual¹ los haces puntuales suelen proporcionarse con capacidad de orientación. En diseños de satélites avanzados, pueden utilizarse haces puntuales múltiples o haces puntuales de exploración , por ejemplo, junto con una matriz de conmutación a bordo a fin de cubrir la zona de servicio mediante un proceso dinámico
- Cobertura conformada que se ajusta a un territorio en específico y/o a un conjunto particular de estaciones terrenas. La conformación del haz y la generación de haces separados en el espacio por múltiples alimentadores en un reflector parabólico común se utilizan en diversos satélites existentes.

Cuanto más estrecha es la cobertura, más alta será la ganancia de la antena del satélite y, en consecuencia, mayor la P.I.R.E. de transmisión del satélite (para un nivel dado de potencia de salida del transpondedor). Por ejemplo, la P.I.R.E de haz conformado es como

¹Para la cobertura del haz puntual, el tamaño mínimo de la zona de servicio que ha de iluminarse está regido principalmente por el tamaño y el peso del sistema de la antena del satélite. La utilización de frecuencias en 12GHz y superiores ha permitido generar haces de lóbulo principal de 0.5° o menos. Sin embargo, las tolerancias de precisión de puntería de la antena se hacen más críticas para haces de un tamaño inferior a 0.5°.

mimo de 33 dBW, en comparación de con solo 22 dBW para los haces globales de los satélites INTELSAT. La Pire elevada permite utilizar estaciones terrenas sencillas y económicas con antenas pequeñas (por ejemplo pueden utilizarse antenas con un diámetro de 4.5 metros con un satélite con una pire de 33 dBW

La pire del satélite (así como también la G/T del satélite, son los parámetros mas influyentes que dan la sensibilidad del receptor) suele mostrarse en mapas d la tierra como curvas de "ISO-P.I.R.E" o "ISO-G/T, que rodean los bordes de la zona de servicio. Así, estas curvas indican la calidad de funcionamiento mínimo disponible en la zona de servicio.

Dentro de la zona de servicio, la ganancia de la antena del satélite suele ser mayor que en los bordes y se dispondrá de una Pire o G/T más alta. Si la antena del satélite radia un haz simple (circular o elíptico), puede mostrarse que la ganancia de antena será alrededor de 4 dB inferior en los bordes que en el centro del haz. Este nivel relativo de 4 dB corresponde a un valor absoluto de ganancia de antena máximo en los bordes de la zona de cobertura² Sin embargo, incluso son factibles mayores ganancias de antena en toda la zona de servicio si se utilizan haces conformados. Teóricamente, la ganancia máxima se obtendría si el satélite pudiera radiar un haz con un nivel de ganancia uniforme dentro de la zona de servicio y una ganancia cero fuera de la zona de cobertura³

Mantenimiento en posición el satélite y precisión de puntería de la antena

² Como ejemplo, una zona de servicio circular 5° (vista desde el satélite) debe ser cubierta por un haz de antena de satélite con una abertura de lóbulo principal de 5°, medida ene. Nivel relativo de -4 dB. La ganancia absoluta máxima (en el centro del haz) de esta antena es aproximadamente de 30 dBi, y la ganancia absoluta en $\pm 2.5^\circ$ con respecto al centro del haz, es de 26 dBi. Esta es la ganancia mínima disponible de la zona de servicio.

Cálculos detallados demuestran que es un valor óptimo:

- Si la anchura del lóbulo=4° ganancia máxima = 31.9 dB y ganancia disponible mínima = 25.3 dBi.
- Si la anchura del lóbulo es =6° :ganancia máxima =28.4 dBiu ganancia disponible mínima = 25.7 dBi

³ La bonificación teórica con respecto al caso del haz simple sería a 4 dB, pero este valor no puede obtenerse con antenas reales (debido al tamaño limitado de la antena y a las pérdidas en el dispositivo alimentador complejo para una antena de haz conformado).

En un radio de 42,165 Km. desde el centro de la tierra (es decir, a 38787 Km. por encima de la superficie de la tierra), para un observador situado en la superficie de la tierra parece que el satélite esta fijo en un punto del cielo, es decir. Es geoestacionario. Sin embargo, esta es solo una situación ideal pues las fuerzas naturales cambian la orbita del satélite. Las fuerzas debidas a la elipticidad del ecuador de la Tierra, la fuerza de gravedad del sol, luna y la presión de la radiación solar hacen que el satélite derive su longitud y se mueva hacia el norte y hacia el sur del Ecuador describiendo una figura en forma de 8. Los sistemas de "mantenimiento en posición" situados a bordo del satélite se utilizan para contrarrestar estas fuerzas y mantener el satélite en la posición deseado dentro la órbita. Las variaciones restantes en la posición longitudinal de los satélites, debidas a la deriva orbital o a errores de inclinación y seguimiento, afectaran directamente las necesidades de separación orbital de los sistemas de telecomunicaciones por satélite. Cuanto mayor es la variación, mayor será la reducción del potencial de capacidad orbital.

El mantenimiento de la posición latitudinal y el control del eje de guiña son también parámetros importantes en el mantenimiento de posición y orientación del satélite. Ambos están estrechamente controlados, los limites de error de puntería de haz del satélite impuestos en el reglamento de radiocomunicaciones y que hizo más estrictos la CAMR-79 (es decir los satélites deben de ser capaces de mantener sus haces dentro del 10% de la abertura angular de mitad potencia o de $.3^\circ$ con respecto a la dirección de puntería nominal, eligiendo entre estos dos valores , el que sea mayor) aplican restricciones significativas al movimiento en latitud y guiñada para los satélites con haces puntuales de alta ganancia. No se ha considerado aun necesario aplicar límites directos a estos dos parámetros.

Se están estudiando con prudencia otras reducciones en la tolerancia de los mencionados parámetros de control de satélite a fin de aumentar la capacidad orbital, puesto que el aumento de las ventajas puede ser no suficiente para compensar los inconvenientes asociados en cuanto al diseño y a la complejidad operacional. Sin embargo, una precisión global de mantenimiento de posición de $\pm 0.05^\circ$ parece ser actualmente factible y que puede obtenerse en sistemas reales.

Debe de señalarse que la precisión de mantenimiento en posición d puede ser también un factor importante en el diseño y el costo de las estaciones terrenas. Por ejemplo una estación terrena con una antena de un diámetro de 8.5 metros en las bandas de 6/4 Ghz y de 3.5 metros en las bandas de 14/11 Ghz podría realizarse con puntería fija (es decir, sin ningún sistema de seguimiento automático) si reproporciona una precisión de mantenimiento en posición del satélite de $\pm 0.05^\circ$.

Múltiples satélites; tendencias futuras sobre la realización de satélites

La manera más sencilla de afrontar el aumento de la demanda de tráfico es un sistema de satélites es proporcionar un segundo o tercer satélite, etc., para una zona de servicio dada. Este método es utilizado por INTELSAT, que explota tres satélites en la región del Océano Atlántico (denominados: satélite primario, satélites de trayecto principal 1 y 2) y dos satélites en la región del océano Indico. La introducción de múltiples satélites en una zona de servicio representa costos adicionales y también ventajas para los propietarios de las estaciones terrenas: cuando se introducen más satélites operacionales para obtener mayor capacidad, algunos usuarios deben de construir una segunda o tercera antena con un gasto considerable para tener acceso a los nuevos satélites. Sin embargo, además de proporcionar a los usuarios una mayor capacidad de comunicaciones por satélite, otros satélites operacionales pueden permitir también el establecimiento de la diversidad de rutas para establecer múltiples trayectos por satélite

1.8 Uso y rehusó de frecuencias

1.8.1 Atribución de bandas de frecuencia

La mayoría de los enlaces comprenden transmisiones de una estación terrena a una estación espacial y retransmisión de la estación espacial a una estación terrena. Es conveniente que los anchos de banda para la transmisión del enlace ascendente y del descendente sean iguales a fin de permitir la plena utilización de una banda atribuida. Estos sistemas son capaces de utilizar un sistema de antena común para transmitir y recibir puesto que la relación entre las frecuencias de enlace ascendente y descendente

es inferior a 1.5, otra ventaja de esta configuración es que las condiciones de propagación son relativamente similares tanto para los enlaces ascendentes como descendentes y que es probable que los efectos de polarización estén correlacionados. Así mismo, si hace el plan de disposición de canales (división del conjunto de la banda de frecuencias en bandas de frecuencias más pequeñas o radiocanales) sea idéntico para ambos enlaces, la frecuencia de conversión del transpondedor del satélite puede mantenerse constante para cada radio canal.

Banda	Rango de Frecuencias (GHz)	Servicio	Usos
VHF	30-300 Mhz	Fijo	Telemetría
UHF	300-1000 Mhz	Móvil	Navegación, Militar
L	1 - 2	Móvil	Emisión de audio, radiolocalización.
S	2 - 4	Móvil	Navegación
C	4 - 8	Fijo	Voz, datos, video, Emisión de video
X	8 - 12	Fijo	Militar
Ku	12 - 18	Fijo	Voz, datos , video, Emisión de video
K	18 - 27	Fijo	Emisión de video, com. inter satélite
Ka	27 - 40	Fijo	Emisión de video, Com. inter satélite

Bandadas de Frecuencias de los Satélites Mexicanos (Solidaridad I y II)

Banda	Rango de Frecuencia Tx(Ghz)	Rango de Frecuencias Rx (Ghz)
L	1.6265 - 1.6605	1.525 - 1.559
C	5.925 - 6.425	3.700 - 4.300
Ku	14.00 - 14.50	11.70 - 12.2

Tabla 1-3 Rangos de frecuencias par uso satelital

El espectro disponible en cualquier banda dada es finito y la capacidad de cursar comunicaciones de un sistema de satélite esta determinada en consecuencia. Para aumentar la capacidad de los sistemas de satélite, se han desarrollado y empleado métodos de reutilización del espectro de. Existen dos métodos de reutilización de frecuencias que emplean las técnicas de aislamiento espacial y discriminación por polarización

La reutilización de frecuencia por aislamiento espacial en el mismo satélite puede proporcionarse mediante la utilización de múltiples haces de antenas que sirven a diferentes zonas de cobertura. Este método ha sido aplicado en los satélites INTELSAT IVA, que utiliza haces separados denominados "hemisféricos" para la cobertura de la cuenca oceánica oriental y occidental. El aislamiento de la antena entre los haces hemisféricos oriental y occidental es superior a 27 dB. Este aislamiento especial proporciona una capacidad de 800 Mhz de ancho de banda, que originalmente era de 500 Mhz. La misma técnica es aplicable también en los sistemas que utilizan múltiples haces puntuales.

La reutilización de frecuencias por polarización doble que se realiza mediante la discriminación por polarización se logra utilizando dos transmisores polarizados ortogonalmente en la misma zona de cobertura; las dos polarizaciones pueden ser lineales (horizontal o vertical) o circular (dextrógira (PCD) y levógira (PCL). La discriminación por polarización se requiere para la antena de la estación terrena así como para la antena del satélite y ambas en los accesos de transmisión y recepción. Si se utilizan antenas del satélite separadas por polarización, puede obtenerse discriminación por polarización lineal superior a 33 dB. Para las antenas de estación terrena pueden obtenerse valores típicos de discriminación por polarización circular o lineal de más de 30-35 dB, respectivamente, en una antena común tanto en la transmisión como en la recepción.

Los satélites INTELSAT-V son un ejemplo de satélites que utiliza técnicas de aislamiento tanto espacial como por polarización ortogonal (polarización circular) para lograr una utilización cuádruple de las bandas 6/4 Ghz y una utilización doble (espacial) de las bandas de 14/11 Ghz. Como otros ejemplos cabe citar algunos

satélites de telecomunicaciones nacionales de Estados Unidos de América, que han empleado técnicas de polarización ortogonal (polarización lineal) para duplicar el número de canales proporcionados en las bandas de 6/4 Ghz en comparación con la generación de satélites anterior o primera, y también el satélite europeo ECS (sistema EUTULSAT) que utiliza la reutilización de frecuencias, mediante la polarización ortogonal en las bandas de 14/11 Ghz.

Las técnicas de reutilización de frecuencias mediante la polarización ortogonal, que emplean transmisores con polarización a través de la atmósfera de la tierra, lo que da como resultado la interferencia entre las dos transmisiones de polarización ortogonal. Este fenómeno, denominado despolarización o transpolarización, es inducido por dos fuentes: el efecto FARADAY, que es causado por el campo magnético de la tierra en la ionosfera, y las precipitaciones, principalmente la lluvia o los cristales de hielo.

El efecto de Faraday produce una rotación de la polarización que depende de la frecuencia y varía con el tiempo, y no un efecto de despolarización, en la orientación del plano de polarización. Los valores de cresta de la rotación de Faraday pueden ser de hasta 9° a 4 Ghz y de 4° a 6Ghz... Si la rotación de Faraday es importante en la frecuencia de trabajo, hay que proporcionar una rotación diferencial de los planos de polarización en las antenas de la estación terrena. Esto se debe a que el sentido de la rotación, visto en el sentido de la propagación, es opuesto para la transmisión con respecto a la recepción. La rotación de Faraday tiene un efecto despreciable sobre la polarización circular, y en muchos casos en frecuencias superiores a 10 Ghz también para la polarización lineal.

La despolarización inducida por la lluvia es causada por las gotas de lluvia no esféricas, que producen una atenuación diferente y un desplazamiento de fase entre las componentes lineales ortogonales de la señal, lo que degrada la discriminación entre las señales con polarización tanto lineal como circular. Aunque el desplazamiento de fase diferencial es la causa primaria de la despolarización, la atenuación diferencial se hace también importante por encima de 10 Ghz.

La aplicación de los conceptos de reutilización de frecuencias mediante la polarización ortogonal impone otros requisitos técnicos estrictos a las antenas de la estación terrena:

1. como se ha explicado anteriormente, cada parte del alimentador de la antena tiene que transmitir o recibir solamente campos electromagnéticos de RF de acuerdo con su propia polarización (por ejemplo, polarización circular levógira) y estar aislado de la otra polarización (por ejemplo, polarización circular dextrógira): este requerimiento se denomina discriminación por polarización o aislamiento por polarización. Si el aislamiento por polarización no es suficiente (por ejemplo el aislamiento global es, por ejemplo, inferior a 24 dB debido a antenas imperfectas de satélite y de estación terrena y al medio de propagación), una señal en la misma frecuencia, pero con polarización ortogonal, producirá una contribución de ruido inadmisible en el acceso de polarización normal(deseada).
2. Este requisito de discriminación por polarización significa que todo el sistema de antenas, no solo el alimentador, tiene que tener un funcionamiento de una alta pureza de polarización para todo el ancho de banda de operación en transmisión y recepción, lo que plantea condiciones difíciles
 - Duplexor
 - Polarizadores(cuando se utilizan polarizaciones circulares)
 - Acoplador de seguimiento(cuando se utiliza un sistema de seguimiento monoimpulso)
 - Bocina de radiación
 - Sistema de alimentación periscópica
 - Sistema de reflectores (debe prestarse especial atención, en las antenas Cassegrain, al subreflector y a su estructura de apoyo).

El diagrama de radiación de sistemas de antena de estación terrena diseñados adecuadamente presenta una elevada pureza de polarización, no solo en el eje del haz si no también cerca del eje (en el caso de errores de seguimiento) y una pureza de polarización satisfactoria (bajo componentes de transpolarización) en toda la abertura angular y en los lóbulos laterales (a fin de evitar interferencia en la OSG⁴

⁴ Se requiere una calidad de funcionamiento similar de las antenas del satélite ;en particular ,debe de mantenerse una elevada pureza de la polarización en toda la cobertura terrena(zona de servicio)

3. En las estaciones terrenas cuyos planes de tráfico prevé la comunicación simultánea en ambos sentidos de polarización, tienen que estar equipadas con un Duplexor de cuatro accesos (dos accesos de transmisión y dos de recepción), dos amplificadores de alta potencia y sistemas de equipo de telecomunicaciones de transmisión, así como dos amplificadores de bajo nivel de ruido y sistemas de equipos de telecomunicaciones en recepción

Se han elaborado, modelos de propagación, para predecir las degradaciones por polarización debidas a lluvia y otros factores meteorológicos. En las regiones con un índice muy elevado de precipitaciones (como América Central y las zonas tropicales), el funcionamiento con reutilización de frecuencias por polarización ortogonal tendrá que relajarse con extremo cuidado.

Por último, habrá que introducir en el sistema de antenas o en los equipos de comunicaciones de la estación terrena dispositivos para la compensación de la despolarización y el seguimiento de la polarización. Estos dispositivos se han desarrollado, para su aplicación práctica plantea difíciles problemas de realización.⁵

En resumen la reutilización de frecuencias por polarización ortogonal ha demostrado ser un potente instrumento para aumentar la capacidad de tráfico de los sistemas satelitales y mejorar la eficiencia del recurso órbita-espectro. Incluso si el principio no se necesita un sistema de polarización ortogonal, sería prudente prever, en la fase de planificación del programa, su futura introducción. Debe recordarse también que la polarización ortogonal ha de tenerse en cuenta para los cálculos de interferencia entre redes y de coordinación.

En conclusión los dos tipos de reutilización de frecuencias (separación de haces por aislamiento espacial y discriminación por polarización) se utilizarán cada vez más en los sistemas de satélite.

Por ejemplo, tendrían que proporcionar señales de radiobaliza especiales para la compensación del enlace ascendente.

1.9 Disponibilidad del servicio

Es la fracción de tiempo durante la cual se obtiene servicio satisfactorio por demanda. Esto tiene en cuenta las interrupciones debidas a fallos de los equipos, funcionamiento deficiente de los equipos, sobrecargas, mantenimiento programado, catástrofes destructivas, errores humanos, además de las características de calidad que hacen que el canal no sea utilizable durante un periodo de tiempo suficientemente largo, de modo que el usuario solicita un nuevo canal o se desconecta el conmutador.

El servicio se obtiene mediante un canal de que se establece la interconexión de diferentes sistemas TANDEM, incluidos los aparatos telefónicos, bucles locales, conmutación, múltiplex, líneas de alambre, líneas radio eléctricas, cables, satélites, etc. En algunas conexiones, tal vez no se utilice algunos de estos elementos, pero cada uno puede contribuir a la calidad de funcionamiento y a la disponibilidad. Cada elemento del sistema tendrá sus propios objetivos de calidad de funcionamiento y de disponibilidad con un pequeño valor suficiente para garantizar que se logran niveles globales de calidad de servicio sin consideración de cualquiera de las facilidades utilizadas para proporcionar una conexión particular

La figura 1-9 es un diagrama simplificado que ilustra la función del CFR por satélite para proporcionar una interconexión internacional. De ese modo puede deducirse que el CFR debe tener una disponibilidad del servicio y una calidad de transmisión adecuadas. Los elementos que contribuyen a la disponibilidad del servicio definidos en la recomendación G.106 son la trafabilidad, la disponibilidad y la propagación. De estos elementos, la trafabilidad tiene una representación mínimo puesto que el CFR por satélite puede influir poco en este aspecto.

El parámetro utilizado para definir la disponibilidad resulta de una comparación directa del tiempo de funcionamiento programado con el tiempo de funcionamiento real (verse la recomendación 579)

La utilización de componentes de alta calidad, la disponibilidad del orden de 99.99% o superior.

Dados los conceptos de redundancia que se aplican en la práctica corriente, las interrupciones debida a fallos de los equipos son muy cortas, típicamente de menor de 1 s. la mayoría como la alimentación primaria, los sistemas de seguimiento de antena y los amplificadores de potencia, acompañados por fallos consiguientes de otros subsistemas, Esto dificulta a veces la localización de averías, lo que retarda su corrección. Se ha observado también interrupciones asociadas con las condiciones meterológicas distintas a las relacionadas con la propagación, tales como los rayos. Si bien se proporciona protección contra los rayos, ha habido casos en los que no ha sido totalmente eficaz. En estos casos. La reparación de averías patentes hace algunas veces que se descubran otras que no lo es tanto.

Aunque la disponibilidad suele depender de configuraciones y la fiabilidad de los equipos, en las frecuencias más altas la propagación se convierte en un factor de la disponibilidad del servicio porque las interrupciones pueden rebasar un criterio predeterminado.

Sistemas

Por regla general, en los sistemas satelitales se obtienen disponibilidades del 99% o superior. Estos valores son compatibles con los niveles de disponibilidad logrados en otros circuitos de alta calidad de funcionamiento que utilizan otras tecnologías. En la tabla se muestra la continuidad del servicio del sistema INTELSAT

Calidad de funcionamiento				
Trayecto medio	1982	1983	1984	SEP
Estación terrena media	99.220	99.753	99.225	99.944
Segmento espacial	99.964	99.885	99.975	99.974
	99.997	99.988	99.977	99.999

Tabla 1-4 continuidad del servicio INTELSAT –ejemplo típico de disponibilidad.

La continuidad de servicio media para circuitos se calcula sobre la base de la estación terrena-satélite-estación terrena”

Continuidad de servicio media lograda para los circuitos a través de una estación terrena dentro del sistema INTELSAT

Continuidad de servicio de los circuitos a través de satélites dentro del sistema INTELSAT , incluidas las interrupciones de los satélites y el tiempo de indisponibilidad que puede haber resultados de la reconfiguración y otras causas.

1.10 Formas de interferencias

1.10.1 Posibles modos de Interferencias

Con viene examinar los distintos modos de interferencia entre estaciones en los servicios espaciales y terrenales. Aparecen en la figura 1.10 las interferencias en el satélite

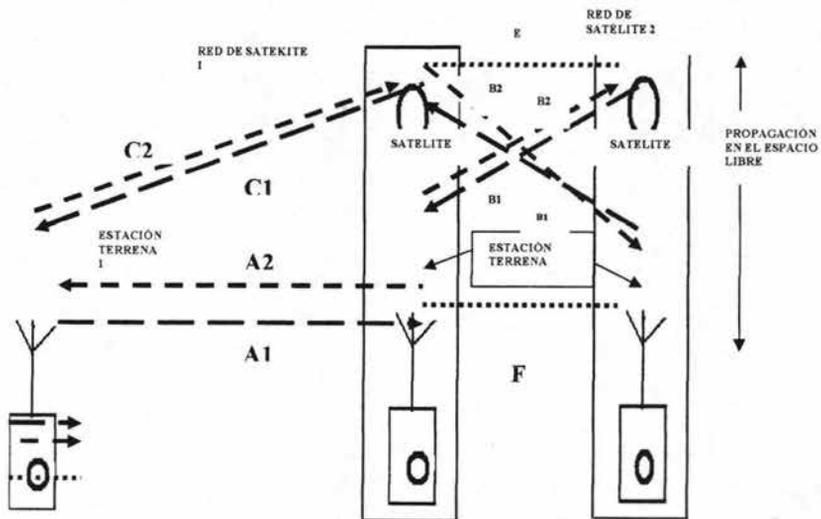


Figura 1-10 Modos de interferencias por satélite en las bandas de frecuencias atribuidas a las radiocomunicaciones terrenales con iguales derechos

Modos de Interferencia entre servicios espaciales y terrenales los cuales pueden darse los cuatro casos de interferencia siguientes:

- A. Las transmisiones de la estación terrena interfieren a la recepción en una estación terrena
- B. Las transmisiones de la estación terrena interfieren a la recepción en una estación terrenal.
- C. La transmisiones de la estación espacial interfieren a la recepción en una estación terrenal
- D. Las transmisiones de la estación terrenal

1.10.2 Modos de interferencia entre estaciones de distintos sistemas espaciales con utilización unidireccional de frecuencias

Los modos de interferencias entre estaciones de distintos sistemas espaciales en bandas de frecuencias con atribuciones separadas tierra-espacio y espacio-tierra son los siguientes:

- E. Las transmisiones de la estación espacial de un sistema causan posiblemente interferencia ala recepción en una estación terrena de otro sistema espacial
- F. Las transmisiones de una estación terrena de un sistema espacial causan posible interferencia a la recepción en una estación espacial de otro sistema espacial.

1.10.3 Modos de interferencia entre estaciones de distintos sistemas espaciales con utilización bidireccional de frecuencias

Los modos de interferencia entre estaciones de distintos sistemas espaciales en las bandas de frecuencia para la utilización bidireccional amplían los anteriores modos A Y B de la siguiente forma

- G. Las transmisiones de una estación espacial de un sistema espacial causan posiblemente interferencia a la reopción en una estación espacial de otro sistema espacial
- H. Los transmisores de una estación terrena de un sistema espacial causan posiblemente interferencia a la recepción en una estación terrena de otro sistema espacial.

1.10.4 Condiciones de propagación en los trayectos de interferencia

Al estudiar los efectos de los modos de interferencia antes mencionado es preciso considerar las siguientes condiciones de propagación en el caso más desfavorable en los trayectos de interferencia.

- Propagación en el espacio libre para los trayectos comprendidos entre la tierra y el espacio en el caso de los modos A,B,C Y D
- Propagación Troposférica en los trayectos que siguen efectivamente la superficie de la tierra en el caso de los modos A A`

1.11 Disposición del reglamento de comunicaciones

El reglamentó de Radio comunicaciones se elaboró ciertamente para tratar cada una de esas situaciones a fin de permitir el desarrollo de todos los servicios sin el riesgo de interferencia en cualquiera de los dos sentidos. Los modos A, C y D se han regulado imponiendo limitaciones apropiadas a la energía radiada, en particular en una dirección decisiva. Los modos A y B, relacionados con los trayectos de la interferencia entre estaciones terrenas y estaciones espaciales, se tratan con el concepto de la coordinación, que ha de efectuarse entre administraciones en los casos en que la zona de coordinación situada alrededor de una estación terrena (transmisora o receptora) comprende el territorio de cualquier orto país.

Los modos E y F se combinan habitualmente para evaluar el aumento aparente de la temperatura equivalente de ruido del enlace por satélite causado por otro enlace por satélite. Cuando este aumento supera el valor de umbral las dos administraciones responsables del funcionamiento de los sistemas espaciales efectuaran su coordinación.

1.10 Configuración de una estación terrena

1.12.1 Configuración y principales funciones

La estación terrena es el terminal transmisor y receptor de un enlace de telecomunicaciones por satélite. La configuración general de una estación terrena no es fundamentalmente distinta de una terminal de radio enlace, pero la atenuación en el espacio libre tan considerable (unos 200 dB) que experimentar las ondas radioeléctricas de la portadora en su trayecto entre la estación y el satélite (36000Km) requiere normalmente una calidad de funcionamiento de los principales subsistemas de una estación terrena mucho mayor que la de una terminal receptora.

El diagrama funcional general de una estación terrena viene dado en la figura en la que se puede ver que la estación consta de los principales subsistemas siguientes:

- El sistema de antena
- Los amplificadores del receptor(LNA)
- Los amplificadores de potencia
- El equipo de telecomunicaciones(convertidores de frecuencia y Modems)
- El equipo de Multiplexación y demultiplexación
- Equipo de conexión con la red pública
- El equipo auxiliar
- Equipo de alimentación de energía
- La infraestructura general

1.12.2 El sistema de antena

La antena, cuyo diámetro puede oscilar entre unos 33m 3 metros es el sistema más visible de la estación terrena.

Las antenas de las estaciones terrenas sirven para la transmisión y recepción a la vez y han de tener las siguientes características de alta calidad

- Alta ganancia en transmisión y recepción. Que requiere reflectores grandes en relación con la longitud de onda y muy eficaces.
- Bajo nivel de interferencia en (transmisión) y de sensibilidad a la interferencia(en la recepción), lo que exige unos diagramas de

radiación con bajos niveles fuera del lóbulo principal(lóbulos laterales pequeños);

- Radiación con gran pureza de polarización;
- En la recepción, escasa sensibilidad al ruido térmico por radiación del suelo y pérdidas diversas.

Desde el punto de vista mecánico, el funcionamiento de los elementos radioeléctricos exige una precisión estructural grande, la superficie el reflector principal ha de tener una precisión de 1/50 de la longitud de onda, por ejemplo. 1mm para la banda de 6Ghz, o una precisión relativa de 1/30 000 en el caso de antenas grandes de norma A de INTELSAT de unos 30metros. Esta precisión se deberá mantener en todas las condiciones ambientales de explotación y con independencia de los desplazamientos residuales del satélite: por ejemplo, en el caso de las antenas de norma A de INTELSAT, la precisión angular ha de ser de unos 0.015° lo que requiere un dispositivo de seguimiento automático que controle el mecanismo de arrastre de la antena.

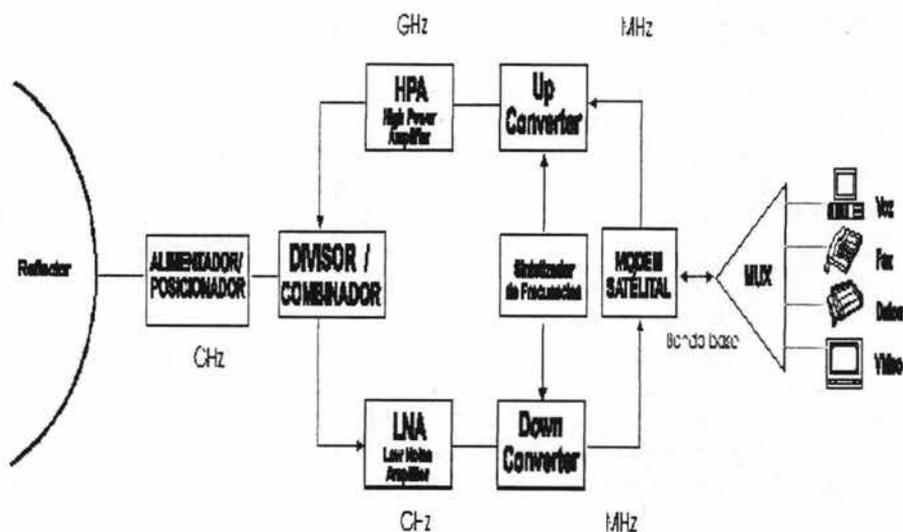


Figura 1-11 diagrama funcional de una estación terrena.

El sistema de antena se compone de lo siguiente:⁶

- a) El sistema mecánico que comprende el reflector principal, el pedestal, el mecanismo de arrastre y el servo sistema.
- b) La fuente primaria, que comprende la bocina iluminadora, los correspondientes espejos (espejos auxiliares de las antenas tipo Cassegrain y a veces espejos perisópicos⁹ y los componentes no radiantes (acoplador de seguimiento, polarizador, duplexores, etc.)
- c) El receptor del dispositivo de seguimiento automático
 - Los tipos de estación terrena para las bandas C y Ku se suelen clasificar exclusivamente por el tamaño de antena:
 - Estaciones grandes antenas de 33m a 15 metros
 - Estaciones medianas de 15m a 7 m aproximadamente
 - Estaciones pequeñas de 7 a 3 metros o menos.

Conviene señalar que ésta es una clasificación amplia y que en realidad engloba una clasificación relativa a la complejidad de los demás subsistemas. El diseño general de la estación terrena ha de ser tal que el nivel de calidad y por ende el costo de los componentes sean compatibles entre si.

1.12.3 Amplificadores de bajo nivel de ruido

Para recibir las señales débiles de un satélite, la antena de la estación terrena ha de estar conectada con un receptor altamente sensible, es decir, que tenga un ruido térmico inherente muy bajo. El ruido térmico de un receptor se caracteriza por el factor de ruido, pero en el caso de receptores de ruido muy bajo es preferible aplicar la noción de temperatura de ruido medida en grados kelvin (k) el parámetro básico que caracteriza la sensibilidad de la estación terrena en recepción es la G/T es decir la relación que hay entre la ganancia de antena y la temperatura de ruido total del sistema. La temperatura de ruido propiamente dicha es la suma de la temperatura de ruido equivalente de la antena y de la temperatura de ruido del receptor.

A veces se incluye también en el sistema de antena al LNA de las cadenas de recepción.

Por ello se utiliza siempre un amplificador de bajo ruido como preamplificador de microondas en las cadenas de recepción de las estaciones de telecomunicación por satélite. Se ha de colocar lo más cerca posible del diplexor del alimentador de la antena para evitar el ruido adicional causado por pérdidas de la guía de onda. El amplificador de bajo ruido suele ser de banda ancha (500,800 y 1200 Mhz), un solo amplificador actúa simultáneamente sobre todas las portadoras procedentes de la entrada receptora del diplexor de la antena. Normalmente se prevé redundancia (1+1) la mayoría de los amplificadores de bajo ruido eran paramétricos que eran refrigerados a aproximadamente a 20 ° K por un dispositivo criogénico de gas helio en circuito cerrado.

En la actualidad se utilizan amplificadores con transistores de efecto de campo con Arseniuro de Galio (Asga) los cuales son más sencillos y económicos con una temperatura de ruido de 75° K a 4 Ghz y 250 °K a 11 Ghz, y no necesitan ser refrigerados.

1.12.4 Amplificadores de potencia

A causa de su directividad, la antena tiene una ganancia considerable que permite que la potencia requerida en la salida del transmisor sea típicamente de 1W o menos por canal telefónico y de 1 Kw. por portadora de televisión

Los dos tipos principales de tubos de microondas utilizados en los HPA de las estaciones terrenas son los tubos de ondas progresivas (Travelin.Wave Tube) y Los Klystrons

a) Tubos de ondas progresivas

El tubo de ondas progresivas es intrínsecamente un amplificador de banda ancha que abarca toda la banda utilizable del satélite (500 Mhz o más) con la uniformidad de ganancia y retardo de grupo necesaria. A causa de estas características, el TOP parece ser el amplificador de potencia ideal para las estaciones terrenas porque permite transmitir simultáneamente con un solo tubo varias portadoras telefónicas independientes de los repetidores y de las frecuencias atribuidas a esas portadoras.

Sin embargo, hay que observar que la transmisión simultánea de varias portadoras en el mismo tubo produce componentes de ruido

de intermodulación que aumenta a medida que el punto de trabajo del tubo se aproxima a la saturación. Tendiendo en cuenta que el nivel máximo de grado de linealidad del tubo en el punto de trabajo. Esto provoca una reducción de la potencia del punto de trabajo en relación con la saturación y, por consiguiente, una pérdida de la energía disponible. Esta pérdida durante el funcionamiento multiportadora se puede en la actualidad compensar parcialmente utilizando nuevos dispositivos de igualación denominados linealizadores.

b) Klystron

Los klystrones son básicamente tubos de banda de paso instantánea estrecha: unos 400 Mhz para klystrones a 6 Ghz, unos 80 Mhz para klystrons a 14 Ghz y a veces más.

Estas bandas instantáneas son suficientes para portadoras tradicionales de frecuencia modulada pero pueden ser inadecuadas para portadoras con modulación de fase y codificación digital (modo TDMA). En todo caso, la elección del klystron como tipo de tubo utilizable entraña generalmente el empleo de un amplificador para cada una de las portadoras transmitidas, salvo en el caso de SCPC (canal único por portadora).

Pese a las desventajas de una banda estrecha instantánea, los amplificadores klystron son generalmente más económicos que los TOP y tienen las siguientes ventajas:

- Rendimiento elevado
- Suministro de energía simple (circuito de caldeo y circuito anódico, enfoque mediante un imán permanente);
- Gran robustez y larga duración de servicio (30000^a 40000 horas)

Por regla general, se utilizarán amplificadores de potencia klystron con preferencia a los TOP cuando una estación solo tenga que transmitir un pequeño número de portadoras FDMA (acceso múltiple por división de frecuencia). Se presentan particularmente bien en la transmisión de portadoras de televisión. Conviene asimismo tener en cuenta que no se dispone de tubos klystron para la gama de potencia inferior a 700 watts. En el caso de estaciones terrenas grandes es necesario utilizar varios amplificadores de potencia. Ya sean klystrons o TOP, por los siguientes motivos:

- En el caso de los amplificadores Klystrons, se tendrá que disponer por regla general de tantos amplificadores (N) por portadoras transmitidas
- En el caso de amplificadores TOP, la potencia de salida de un solo amplificador puede ser insuficiente;
- Se prevén generalmente uno o varios (m) amplificadores de reserva a fin de asegurar la disponibilidad necesaria; la redundancia es generalmente del tipo 1+1 en el caso de los amplificadores TOP y de tipo n+m en el caso de los amplificadores klystron.

Estos amplificadores múltiples se conectan en transmisión a la entrada de del diplexor de la antena a través de sistemas que comprenden conmutadores (para redundancia) y combinador de salida.

En el caso de estaciones pequeñas de baja capacidad, puede bastar un amplificador de estado sólido, normalmente con transistores de efecto de campo. En la actualidad, la potencia de salida de este tipo de amplificador disponible en el mercado es de varios vatios, aunque puede esperarse que la mejora de las características de los transistores o de los otros dispositivos de estado sólido conduzca a su introducción generalizada en las estaciones pequeñas.

1.12.5 Equipo de telecomunicación

El término de equipo de telecomunicación se refiere normalmente al equipo que modula la portadora de frecuencia muy elevada con las señales de audiofrecuencia (banda Base)

En la emisión y que extrae (demodula) estas señales de audiofrecuencia en la Rx. Las señales de baja frecuencia pueden ser señales analógicas telefónicas que normalmente están multiplexadas, señales digitales, señales de audio, y de video conferencia

El equipo de telecomunicación comprende el equipo convertidor de frecuencia, el equipo modulador y demodulador, y el equipo para tratamiento de la señal.

a) Equipo convertidor de frecuencia

Los convertidores elevadores de frecuencia transforman las señales de frecuencia intermedia (por ejemplo. FI a 70 Mhz 140 Mhz 1 GHZ, etc.) procedentes del modulador en señales de radiofrecuencia (por ejemplo en la banda de 6 Ghz O 14 Ghz). Estas señales son amplificadas a continuación por el amplificador de potencia antes de transmitirla a la antena.

Los convertidores reductores transforman las señales de radiofrecuencia (por ejemplo, en las bandas de 4Ghz o 11Ghz9 recibidas por la antena y preamplificadas por el LNA en las señales de frecuencia Intermedia (FI). Estas señales se trasladan seguidamente a la banda de base del demodulador.

b) Equipo modulador –demodulador (modem)

Este equipo superpone las señales de audiofrecuencia a la portadora de FI o las extrae de la portadora de FI. En la transmisión analógica, la modulación de frecuencia (MF) es el proceso normal, mientras que en la transmisión digital lo es la modulación por desplazamiento de fase (MDP), a menudo. Con cuatro niveles de fase (MDP-4). También se utiliza la modulación en dos fases denominada modulación bifásica (MDF-2), o la de ocho fases o más.

Para cada portadora se requiere una cadena de transmisión(es decir un modulador y un convertidor) la redundancia es con frecuencia del tipo (1+1). Cuando las portadoras de alta frecuencia se tratan en un amplificador de potencia común, se combinan mediante un mezclador (combinadores de entrada en el subsistema de amplificadores del transmisor

De forma similar, cada portadora recibida tiene una cadena de recepción respectiva(es decir un convertidor y un demodulador) en el caso del acceso múltiple por división de frecuencia, una estación recibe normalmente más portadoras telefónicas que las que transmite, ya que cada portadora emitida se destina a varias estaciones (portadoras multidestino). En la recepción, debe recuperarse cada portadora transmitida por las diversas estaciones correspondientes para extraer (en la banda base) las señales destinadas a la estación considerada. La redundancia de la cadena de recepción del tipo $n + m$ (m cadenas de reserva por cada n

cadena de servicio), debe calcularse de acuerdo con la disponibilidad deseada. Un divisor situado en la salida del amplificador común de bajo nivel de ruido distribuye entre las m cadenas las portadoras de alta frecuencia recibidas.

1.12.6 Equipo para el proceso de la señal

En las transmisiones digitales que utilizan multiplexación por distribución en el tiempo(TDM) y el tipo de acceso TDMA se requiere equipo para el proceso de la señal las funciones que efectúa este equipo son las siguientes:

- a) Disposición de los datos digitales en un formato, en transmisión, el equipo adapta el flujo continuo de entrada de bits de los datos digitales para la transmisión por satélite a través del modulador. Esto significa normalmente, que los datos se inserten en una trama y en el TDMA, convertidos (por medio de almacenamientos tampón) en el flujo muy rápido de bits por ráfagas cortas incorporadas en la trama. La estación puede así transmitir ráfagas multidestino en la misma forma que se transmite la portadora multidestino en el FDMA.

Variar el formato de los datos, requiere la inserción de bits adicionales en la trama y en las ráfagas para sincronización, direccionamiento, etc.

Mediante el proceso inverso, en la recepción se recomponen los flujos continuos de datos en las interfaces de banda, en le TDMA (acceso múltiple por división de tiempo), el equipo para el proceso de la señal recibe los flujos binarios procedentes del demodulador en forma de ráfagas procedentes de las diversas estaciones correspondientes.

- b) Sincronización en transmisión y recepción, es decir, ubicación de la ráfaga en la trama (en la transmisión), recuperación de las rafagas8en la recepción.
- c) Pueden ser necesaria operaciones de codificación /decodificación para modificar el flujo binario destinado a la transmisión por satélite, por ejemplo, para incluir el código de corrección de errores.

- d) Diversas operaciones del proceso de datos adicionales para mejorar la transmisión y hacerla más fiable

En las transmisiones TDMA, las unidades modem se encuentran a menudo incorporados físicamente en el equipo para el proceso de la señal, con el que se constituyen el equipo común denominado TDMA.

1.12.7 Equipo de multiplexación y demultiplexación

Transmisiones analógicas (telefonía)

- a. Incluso cuando todas las transmisiones son analógicas, es decir cuando la transmisión por satélite es analógica (MDF-FDMA) y el interfaz con la red terrenal es también analógico, sigue siendo casi siempre necesario modificar la distribución de los canales telefónicos (en particular los grupos) dentro de los multiplexores de la banda base). Antes de la transmisión se redistribuyen las señales telefónicas multiplexadas procedentes de la interfaz con la red terrena para formar la banda base que ha de modular la portadora multidestino de acuerdo con la normalización adoptada para la transmisión por satélite. En la recepción las señales procedentes de los diversos moduladores (que proceden de las portadoras transmitidas por las estaciones correspondientes) se filtran para extraer únicamente los canales telefónicos (o más generalmente los grupos primarios y secundarios).

Puede verse que las telecomunicaciones por satélite se caracterizan por una estructura asimétrica entre las señales múltiplex de banda base de transmisión y recepción. por lo tanto ha de preverse en la estación terrena un equipo multiplexor/de multiplexor especial que constituya el interfaz de la transmisión por satélite y la conexión con la red terrenal.

b. Transmisión digital

En la transmisión digital por satélite, los canales telefónicos a transmitir, o más frecuentemente los múltiplex normalizados procedentes de las transmisiones terrenales se recombinan y vuelven a ordenar para formar los flujos binarios que transmitirá la

estación (en particular, tras la agrupación de ráfagas, para la transmisión TDMA. En recepción se utiliza el proceso inverso para extraer los grupos binarios destinados a la estación (ráfagas procedentes de las estaciones correspondientes con información de la banda base en el caso de la transmisión TDMA).

1.13 Configuraron de un satélite

1.13.1 La estructura

La estructura de un satélite debe de soportar los siguientes esfuerzos mecánicos:

- Esfuerzos estáticos y dinámicos durante el lanzamiento
- Esfuerzos estáticos y dinámicos por el encendido del motor de apogeo
- Esfuerzos dinámicos en orbita(generatores solares)
- Esfuerzos de estabilidad dimensional(reflectores de antena)

El esfuerzo dinámico aplicado por el vehículo de lanzamiento al satélite es, con mucho, el mayor y comprende los choques mecánicos y acústicos y las vibraciones comunicadas al satélite cuando se ponen en funcionamiento los motores y durante las etapas de propulsión

La estructura total del un satélite de telecomunicaciones puede dividirse en estructuras primarias y secundarias.

La estructura primaria o cuerpo del vehículo se construye generalmente con aleaciones livianas de aluminio y consiste en las siguientes unidades básicas.

- Tubos cilíndricos o cónicos, simples o con esfuerzos
- Placas y panales de alma alveolar
- Soportes y largueros de distintas formas.

Las estructuras secundarias (generadores solares y reflectores de antena con sus soportes) son de materiales compuestos (por ejemplo, fibra de carbón -resina epoxíca), de gran rigidez y bajo coeficiente de dilatación térmica. Dadas las condiciones de lanzamiento su masa debe de ser la menor posible y han de ser robustos y presentar estabilidad dimensional dados los gradientes de temperatura experimentados.

1.13.2 Sistema de control térmico

el satélite esta sometido a la acción de temperaturas muy extrema, por estar expuesto de un lado a la radiación solar y del lado expuesto al frío espacial. El control térmico mantiene la temperatura dentro de los límites apropiados para el funcionamiento de la carga útil.

En el espacio de la transferencia de calor se produce principalmente como la radiación de en el vacío. En el caso de los equipos del satélite también tiene lugar por conducción en la estructura del satélite, pero al ser esta estructura muy liviana, su capacidad de transferencia de calor es limitada.

Las únicas fuentes externas de energía térmica son la radiación procedente del sol y de la tierra y la reflexión de la radiación solar por la parte iluminada de la tierra (albedo) estas tres radiaciones tienen diferentes características espectrales y geométricas y, por consiguiente, son absorbidas de modos diferentes por la superficie del satélite.

En el caso de los satélites de telecomunicaciones situados en las orbitas geoestacionarias, el medio térmico se caracteriza por las siguientes condiciones espaciales:

- El flujo terrestre y el albedo son despreciables.
- La duración máxima de los periodos de eclipse es de 70 minutos
- Los lados norte y sur están alternativamente en la sombra durante 6 meses al año y son iluminados por el sol con un ángulo bajo (de hasta 23° durante los otros seis meses).
- En el caso de la estabilización triaxial las caras laterales están sujetas a marcadas fluctuaciones de la iluminación solar en 24 horas
- La carga útil consiste en sub.-unidades localizadas, con gran disipación térmica(tubos de ondas progresivas)

1.13.3 Control de altitud

El objetivo del control de altitud es mantener el haz de radio frecuencia de la antena orientada hacia las zonas previstas de la Tierra. Para ello se hace que un eje conectado a la plataforma que soporta la antenas apunte hacia el centro de control de la estación

terrena, las antenas están montadas en esta plataforma apuntando hacia la zona deseada.

El procedimiento de control de altitud comprende lo siguiente.

- La medición de la altitud del satélite mediante sensores
- La comparación de los resultados de estas mediciones con los valores correctos
- El cálculo de las correcciones que han de efectuarse para reducir los errores
- La introducción de estas correcciones mediante el accionamiento de los motores apropiados.

Durante el funcionamiento normal, el satélite solo experimenta perturbaciones retardatrices cíclicas suaves del orden de 10^{-5} Newton-metro. Cuando se efectúan operaciones de mantenimiento en posición, en cambio se aplican al satélite empujes del orden del orden de un Newton.

Los sensores utilizados para las mediciones de altitud son del tipo de infrarrojos y miden la diferencia de signatura infrarroja entre el espacio y el disco terrestre de la banda de emisión/absorción del CO_2 (± 15 1 micrones) dado que el ruido es del orden de 0.02° (en un ancho de banda de 1hz) con variaciones cíclicas estacionales del cero y fenómenos transitorios poco frecuentes denominados nubes frías, la precisión típica de las mediciones puede alcanzar 0.05° . Además de los sensores referidos a tierra, se emplean también Para determinar la orientación del cuerpo del vehículo, sensores referidos al sol. Estos pueden utilizarse para medir directamente el ángulo de guiñada durante gran parte de la órbita diaria, así como para proporcionar datos adicionales sobre balanceo-cabeceo.

En muchos sistemas nacionales y en sistemas internacionales se aplica un más alto grado de control de la puntería de haz. Este modo de control de altitud emplea un haz piloto enviado desde la tierra que se detecta a bordo del vehículo espacial para obtener directamente la orientación de la antena. Con este método de control se duplica o triplica la precisión neta de la puntería del haz con respecto a la obtenida por el sistema de orientación por el cuerpo del satélite. Además, si se emplean radiofaros pilotos procedentes de dos estaciones terrenas suficientemente distantes

entre si, también se obtiene la detección directa del error de rotación (guiñada) del haz.

Si bien hasta el presente todos los tipos de estabilización de altitud se basan en la conservación del momento angular de un elemento rotatorio, los sistemas de estabilización se clasifican usualmente del modo siguiente;

- Estabilización por rotación y Estabilización triaxial

Cualquiera que sea el sistema de estabilización empleado, la velocidad de deriva de la orientación de la plataforma (debida principalmente a la presión de la radiación solar) es del orden de 0.023° por hora o inferior. Cuando se manifiesta como un error de puntería norte-Sur (denominado balanceo), se corrige utilizando pequeños reactores o sistemas par magnético, o alterando la puntería Norte-Sur.

Los errores de puntería en la dirección Este -Oeste (errores de cabeceo) se corrigen acelerando o desacelerando la rotación relativa entre los elementos en rotación y contrarrotación.

Si el bucle de control de este último funciona siempre automáticamente en el propio satélite. La corrección de la orientación del momento angular, en cambio. Puede efectuarse automáticamente a bordo (lo que es usual en la llamada configuración "triaxial) o por telemando desde el centro de control. En todos los casos, la referencia cero puede ajustarse por telemando desde la Tierra.

Las consecuencias que el tipo de estabilización adoptado tiene para la configuración del satélite son las siguientes;

Estabilización por rotación

El satélite se hace rotar rápidamente en torno a uno de sus ejes de inercia principales, en ausencia de pares de fuerzas perturbadoras, el satélite alcanza el momento angular en una dirección fija en el marco de referencia absoluto, en el caso de un satélite geostacionario, por consiguiente, el eje de rotación (cabeceo) debe ser paralelo al eje de rotación de la tierra. Los pares de fuerzas perturbadoras producen dos efectos: reducen la velocidad

de rotación del satélite y afectan al eje de rotación. Generalmente los satélites que utilizan este tipo de estabilización, la plataforma soporta el sistema de antenas y la carga útil. Este sistema contrarresta los pares de fuerzas perturbadoras originados en las diferencias entre la dirección de empuje del motor de apogeo y el eje de inercia del satélite.

Estabilización triaxial.

Cuando se emplea este método, las antenas forman parte del satélite que, con un movimiento rotatorio único, ejecuta una revolución diaria entorno del eje Norte-Sur (perpendicular al plano de órbita).

En el caso más complejo se utiliza un volante inercial que actúa simultáneamente como giroscopio, como en la estabilización por rotación, y como impulsor. Es posible oponer resistencia a ciertos pares de fuerzas perturbadoras modificando la velocidad de rotación del volante y, en consecuencia. Al momento angular del satélite. Los sistemas de control de nutación también se aplican en los satélites con estabilización triaxial.

Control de órbita

Los satélites geoestacionarios están sujetos a perturbaciones que tienden a modificar su órbita. Esto causa una indebida rotación del plano de la órbita y la excentricidad de esta. Visto por un observador desde la Tierra, el satélite presenta un movimiento oscilatorio indebido con una periodicidad de 24 horas y componentes norte-Sur y Este-Oeste (el llamado movimiento en forma de 8).

El objetivo del control de órbita es mantener el satélite posicionado en la casilla asignada (estabilidad de $\pm 0.1^\circ$, o $\pm 0.05^\circ$ en latitud/longitud respectivamente).

Los orígenes de perturbaciones son los siguientes:

- La atracción lunisolar. Esta perturbación tiende a inclinar la órbita, en un plano que sería perpendicular a la dirección astronómica de la constelación Aries. Las correcciones deben de introducirse a las 6 horas o a las 18 horas, tiempo sideral

(que se aparta un día por año o cuatro minutos por día de la hora solar) impartiendo empuje a lo largo del eje Norte(o Sur). La magnitud del impulso correctivo es unos 45m/s por año. O 1 ms por semana, ligeramente modulado en un ciclo de 18,7 años debido a variaciones de la órbita lunar.

- La atracción diferencial de las masas terrestres y las cuencas oceánicas, conocida con el nombre de "triaxialidad de la Tierra. Su valor máximo es de unos 4m/s por año. Deben de introducirse correcciones impartiendo un empuje a lo largo de la órbita.
- El efecto de la presión de la radiación solar que conduce a la excentricidad de la órbita(al desacelerar el satélite durante la mañana y acelerarlo por la tarde). Este efecto depende de la relación entre la superficie y la masa del satélite, el efecto se manifiesta como una oscilación diaria en la longitud, que aumenta 0.001° a 0.002° por semana. (semi amplitud).

Las correcciones de estas últimas, perturbaciones se combinan, lo que resulta en periodos de impulsión a las 6 o a las 18 horas, tiempo solar (según la longitud de la estación).

La función del subsistema de control de órbita es reducir la amplitud de este movimiento indeseado. Los aumentos totales de la de velocidad que han de obtenerse son de unos 50m/s por año en el sentido Norte-Sur y alrededor de 1 m/s por año en el sentido Este-Oeste. Para ello se encienden pequeños impulsores en puntos apropiados de la órbita.

1.13.4 Alimentación de energía.

La alimentación de energía de las estaciones espaciales es particularmente compleja como resultando de diversos requisitos derivados del medio espacial:

- 1) Limitaciones de masa y volumen;
- 2) Requisitos mecánicos(durante el lanzamiento);
- 3) Requisitos relacionados con la temperatura (en la órbita).
- 4) Radiación
- 5) La necesidad de una larga vida útil. Y por consiguiente de una gran fiabilidad. Existen cuatro fuentes principales de energía para los satélites de telecomunicaciones:
- 6) La fuente primaria, generalmente el panel solar;

- 7) La fuente secundaria destinada a funcionar durante los periodos de eclipses;
- 8) Un conjunto de reguladores y convertidores que deben de proporcionar tensiones reguladas para los equipos del satélite;
- 9) Un sistema electrónico de protección y regulación que se emplea también en las operaciones de telemando y la supervisión por telemando.

a) Panel solar

Los paneles solares convierten directamente una parte de la energía solar en electricidad. La energía eléctrica suministrada depende por tanto de las dimensiones del panel y de la eficiencia de conversión (generalmente del 10 al 12%) de las células solares. una células solares suministra alrededor de 50 mW de potencia (por debajo de 0.5 V) y un panel esta formado por gran número de células conectadas en una estructura en serie/paralelo. Para un panel ajustable, la potencia especifica es de alrededor de 21 a 23 W/Kg. y 60 a 67 W/m².

b) Fuente secundaria

Dado que en la mayoría de los equipos de los satélites de telecomunicaciones (control de altitud y de órbita, telemando, carga útil, etc.) debe de estar en funcionamiento permanente, es menester almacenar energía para emplearla durante los periodos de eclipse.

Los generadores electroquímicos son los más apropiados para este fin. Casi todos los satélites de telecomunicaciones están equipados con baterías de níquel-cadmio, a pesar de su baja relación potencia/peso (35Wh/Kg.), por ser baterías herméticamente cerradas de muy larga duración.

La masa de la batería depende, entre otras cosas, de los factores de utilización en el satélite: la profundidad de la descarga y la temperatura. La duración de la batería depende de la profundidad de descarga, es decir, de la relación entre la capacidad descargada durante un periodo de eclipse y la capacidad normal. A fin de alcanzar una vida útil de más de 15 años, el valor de dicha relación no debe de disminuir del 60 al 70% para la duración máxima de un periodo de eclipse, que es de 72 minutos. La vida útil también

depende de la temperatura de la batería: los mejores resultados se obtienen entre $+5^{\circ}$ y $+15^{\circ}$ C.

c) Observación relativa a los eclipses

Cuando el satélite entra en la zona de sombra creada por la tierra al interceptar los rayos solares, los componentes del satélite experimentan un choque teórico y se interrumpe la iluminación de las pilas solares que administran la energía primaria. Este fenómeno de eclipse es máximo cuando el sol se encuentra en la dirección de intercepción del plano de la eclíptica con el plano ecuatorial, es decir, dos veces por año, en los equinoccios (alrededor del 21 de marzo y el 22 de septiembre). En estos días, la parte de la órbita que se encuentra en la sombra abarca 17.4° (el ángulo de la tierra visto desde el satélite geostacionario) y el eclipse dura 70 minutos. Esta duración dura varía gradualmente, y no hay eclipses diarios cuando la inclinación del sol sobre el plano ecuatorial ES DE 8.7° ($17.4^{\circ}/2$) o mayor, es decir, fuera del periodo de unos 21 días antes y después de cada equinoccio. El punto medio de duración del eclipse corresponde a la medianoche, hora de longitud del satélite. Por tanto, si un satélite nacional o regional puede ubicarse al Oeste en su zona de servicio, el eclipse reproduciría después de la media noche local y disminuirá la fuente de energía secundaria de a bordo (o incluso, es posible que se suprima) si el tráfico en ese intervalo de tiempo no justifica una capacidad de comunicaciones total.

d) Reguladores y convertidores

La batería que suministra energía durante un periodo de eclipse debe de recargarse durante el periodo de iluminación solar. Para ello han de adaptarse ciertas precauciones.

Se emplean dos procedimientos principales:

- La batería se conecta directamente en paralelo con el panel solar y determina su potencial (línea no regulada)
- El panel solar se mantiene a una tensión fija y se conecta un circuito de control de la carga en serie con la vertical (línea regulada).

Por regla general, la energía ha de suministrarse a los equipos en forma de tensiones reguladas de corriente continua.

1.13.5 Tele medida-telemando y telemetría

Las funciones de este subsistema son las siguientes:

- La recepción y demodulación (y a veces decodificación) de las señales de telemando destinadas a mantener en funcionamiento el satélite y adaptar la carga útil a las necesidades de la misión.
- Reunión, conformación y emisión de señales de tele medida para el control permanente de todo el satélite;
- Transferencia, después de su demodulación de las señales utilizadas para telemetría
- El uso de ciertas etapas del transpondedor de comunicaciones en las bandas de operación.
- El uso del transpondedor especializado en una banda de frecuencias diferente (alrededor de los 2Ghz); este método se aplica durante la fase de posicionamiento o en caso de mal funcionamiento de la estación.

1.13.6 El motor de apogeo

Las funciones del motor de apogeo consisten en:

- Establecer una órbita de transferencia circular;
- Eliminar la inclinación del plano de órbita

Por consiguiente, el motor de apogeo de la órbita de transferencia debe situarse a la altitud geosíncrona y en el plano ecuatorial. Cuanto más lejos del ecuador se halle el punto de lanzamiento, mayor será la potencia necesaria. En comparación con un lanzamiento desde el Ecuador, y dado el mismo motor de apogeo, la masa que puede ponerse en órbita de los satélites geoestacionarios es alrededor del 230% menor si el lugar del lanzamiento está a una latitud de 30° y el valor desciende a alrededor del 65% a una latitud de 45° .

Con las actuales tecnologías de propulsión la relación neta de las masas (relación entre la masa en la órbita transferencia y la masa del satélite en posición menos los tanques de propulsión de apogeo, vacíos) se sitúa entre 1.7 (ARIANE, lanzado desde Kourou) y 2 (lanzado desde Cabo Cañaveral).

El motor de apogeo debe ser capaz de proporcionar un incremento de velocidad de 1500m/s (ARIANE, desde Kourou) a 1850m/s (lanzamiento desde Cabo Cañaveral). El incremento de velocidad debe de suministrarse en el apogeo (5.25 horas después del perigeo más un número arbitrario de periodos de la órbita de transferencia, de 10.5 horas). El control se efectúa mediante el sistema de seguimiento, teledirigido y telemando y de control de altitud, de ordinario en el modo rotación (con paneles y antenas plegados, dado que los valores del empuje son varias órdenes de magnitud mayores durante el mantenimiento en posición).

Existen dos tipos de motores de apogeo;

- La tecnología tradicional se basa en motores de apogeo de propergol sólido (mezclas de perclorato de amonio y polvo de aluminio en una matriz de plástico elastomérico). Este tipo de motor de apogeo es muy eficiente
- El de propulsión con dos ergoles líquidos (tetróxido de nitrógeno y derivados metálicos de la hidracina) generalmente con un tanque de común para los propulsores del motor de apogeo y del satélite cuando está en posición, con impulsores separados.

1.13.7 Características de la carga útil de algunos satélites de comunicaciones

En el cuadro siguiente se indica la masa al comienzo de la vida útil, la energía primaria al final de la vida útil, la potencia de radiofrecuencia, la capacidad de funcionamiento durante los eclipses y la duración de vida nominal de algunos satélites de comunicaciones. Los ejemplos proporcionados en el cuadro se refieren a la carga útil del segmento espacial para sistemas de servicio fijo tales como los siguientes:

- Sistemas Internacionales: INTELSAT-IVA, V Y VI
- Sistemas regionales: ARABSAT, ECS, TELECOMI
- Sistemas nacionales: ANIK, SATCOM-V SBS.

Satélite	Masa del	Energía primaria	Potencia RF (W)	Funcionamiento durante los	Duración de vida

	satélite al CVU ¹ (Kg.)	al FVU ² (W)		eclipses	nominal(años)
SBC	546	900	200	SI	7
ANIK- C	567	11120	240	SI	10
SATCOM-	598	⁽³⁾	204	SI	10
V	617	1000	312.5 ⁽³⁾	PARCIAL	7
ARABSAT	679	41400	194	SI	7
TELECOM	680	1045	180	SI	7
1	790	900	120	SI	7
ECS	1020	570 ⁽³⁾	238	SI	7
INTELSAT-	1205	1300	1250	NO	10
IVA	177	5000	448	SI	10
INTELSAT-		2260			()
V					
TVSAT-A5					
INTELSAT					
VI					

Tabla 1-5 Características de la carga útil de algunos satélites de comunicaciones.

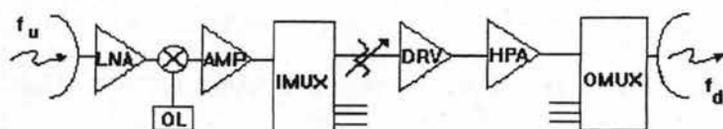
1.13.8 Sistema de comunicaciones

El subsistema de comunicaciones realiza dos funciones básicas. Una es la de convertir la frecuencia a través de un mezclador el cual con una frecuencia de referencia lo convierte a frecuencia intermedia para después poder trasladarla a otra frecuencia que es la de bajada⁷ de la señal sea en el modo de ida o regreso por lo regular la frecuencia descendente es menor que la ascendente debido a que a mayores frecuencias hay mas perdida por las características de la onda electromagnética, y es posible compensar esta perdida lo cual disminuye el costo y la vida útil de los amplificadores del satélite. La otra es la amplificación para obtener un rendimiento mayor se usan amplificadores no lineales en las etapas de potencia para disminuir el ruido de intermodulación se

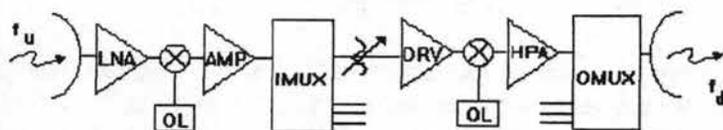
⁷En frecuencias altas como la de la banda Ku se utiliza doble conversión para mayor estabilidad de frecuencia

subdivide la banda de frecuencias en canales (transpondedores) mediante los filtros multiplexor de entrada después de amplificarlas y convertirlas en frecuencia se recombinan las señales en los filtros multiplexores de salida OMUX.

La arquitectura la conforman el LNA que es el amplificador de bajo ruido con un determinado ancho banda que comúnmente es de 500 a 8000 Mhz enseguida el mezclador donde se convierte la señal a frecuencia intermedia con su respectiva amplificación; enseguida entra al proceso de canalización hecha por el IMUX donde salen los diferentes canales y se amplifican para pasar a una etapa de atenuadores de pasos para controlar la potencia y después pasan al convertidor elevador de frecuencia y al amplificador de alta potencia donde a la salida se encuentra el OMUX que recombina todos los canales para pasarlos a la antena transmisora del satélite como se ve en la siguiente figura



a) Simple conversion de frecuencia



b) Doble conversion de frecuencia

- LNA Low Noise Amplifier (amplificador bajo nivel de ruido)
- DRV Amplificadores previos
- HPA High Power Amplifier (amplificador de potencia TWTA)
- IMUX Multiplexor de entrada
- OMUX Multiplexor de salida

Figura 1 -12 Arquitectura del sistema de comunicaciones en el Satélite

El transponder

El ancho de banda del satélite se canaliza en un determinado número de transponder o canales de comunicación para tener una mejor eficiencia del uso de frecuencias y minimizar los productos de intermodulación

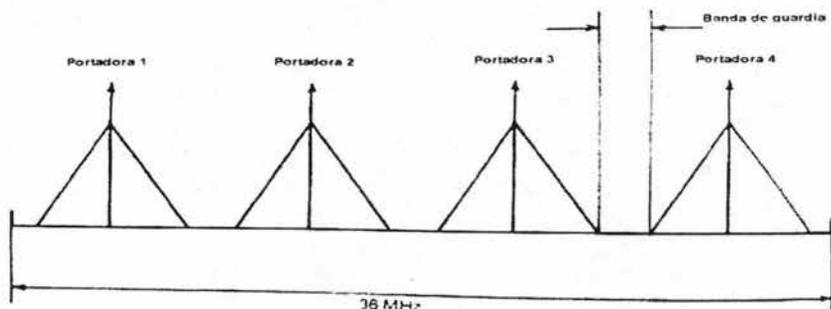


Figura 1-13.- Ésta sería una posible configuración de la ocupación del espacio de frecuencias de un transponder de 36 Mhz, por ejemplo, del número 8 de la figura 3.8. Cada triángulo representa una señal de telefonía que contiene 132 canales telefónicos individuales y tiene asignada su propia frecuencia portadora. La banda de guardia entre señales adyacentes se deja para reducir la interferencia entre ambas y su ancho siempre es función del tipo de señales que y vayan a sus lados.

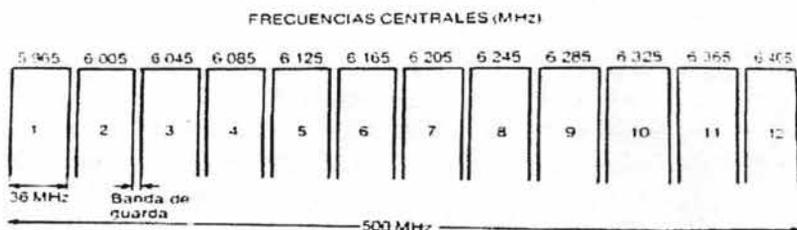


Figura 1-14.- Ancho de banda de un satélite que opera en la banda C, dividido en ranuras de frecuencias de 36 Mhz cada una. Cada ranura corresponde a las frecuencias de trabajo de un

transpondedor, y las frecuencias centrales que se indican son las que se usan para transmitir de la Tierra al satélite. Para la transmisión satélite-Tierra se hace una división similar del ancho de banda comprendido entre 3.7 y 4.2 Ghz, con sus frecuencias centrales correspondientes.

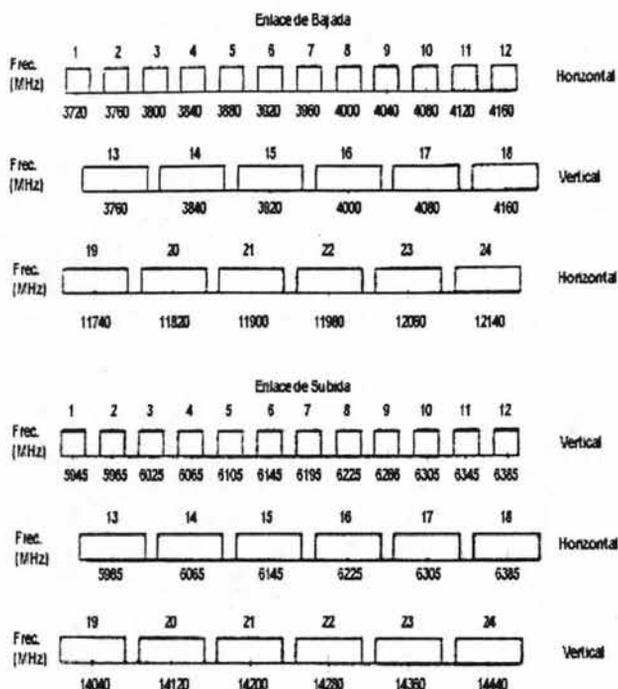


Figura 1-15 Plan de frecuencias y polarización de un satélite Spacenet. (Cortesía de GTE Spacenet Corporation.)

1. Los niveles de interferencia se reducen aún más si se cambia la polarización de las señales antes de retransmitirlas: por ejemplo, las señales que llegan al satélite con polarización vertical son regresadas.

Tema 2 Parámetros que intervienen en un enlace satelital

2.1 Introducción

El Cálculo del enlace satelital es un procedimiento matemático que tiene como finalidad la de obtener los valores de potencia necesaria para comunicar dos puntos, tomando en cuenta las consideraciones físicas relacionadas con el viaje de la señal por el espacio libre, el procesamiento que recibe por parte de los equipos (entre ellos y el satélite mismo), y a la ubicación geográfica de los puntos a comunicar.

En el contexto del diseño de redes satelitales el calculo de enlace constituye la base matemática para el dimensionamiento de los equipos que se utilizan en las estaciones a enlazar, en tanto que en la operación de redes, es útil para determinar la cantidad de potencia necesaria para que la comunicación entre dos o mas estaciones se realice con la calidad deseada

Un sistema de enlace satelital consiste en 2 sistemas que encierran a otros subsistemas

1. *El segmento terrestre*, constituido por:

- Estación Terrena transmisora o Centro de control, y
- Estación receptora o terminal

2. *El segmento espacial*, constituido por:

- El satélite
- El centro de control del satélite.

Comunicaciones

Las comunicaciones entre la Estación Terrena transmisora y las terminales o estaciones receptoras se realizan a través de dos enlaces satelitales; siendo los dos enlaces los que a continuación se detallan:

Enlace de Ida

El enlace de Ida es originado desde la estación terrena transmisora hacia las terminales receptoras, y esta compuesto a su vez por dos enlaces:

- Enlace ascendente de Ida: Enlace entre la Estación terrena transmisora y el Satélite.
- Enlace descendente de Ida: Enlace entre el Satélite y la Estación terrena receptora.

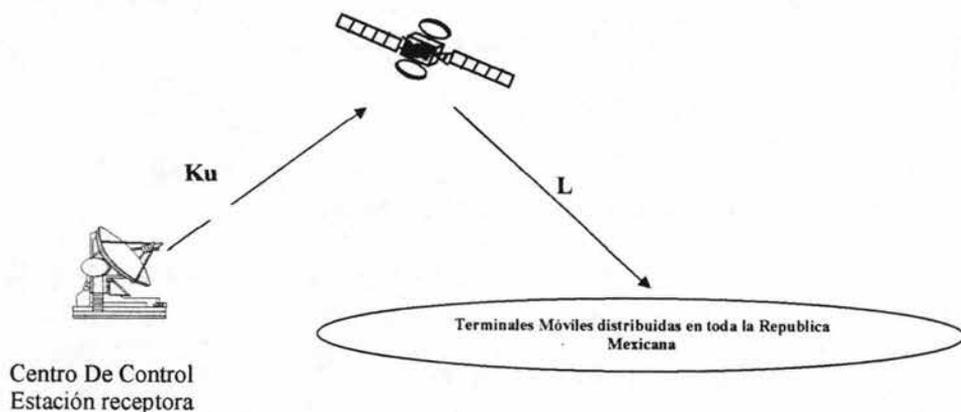


Figura2-1 Enlace de Ida

Enlace de Regreso:

El enlace de Regreso es originado desde las terminales móviles hacia la estación terrena maestra. esta compuesto a su vez por dos enlaces:

- Enlace ascendente de regreso: Enlace en banda L entre la Estación terrena receptora en el modo de transmisión y el Satélite.
- Enlace descendente de regreso: Enlace en banda Ku entre el Satélite y la Estación terrena transmisora

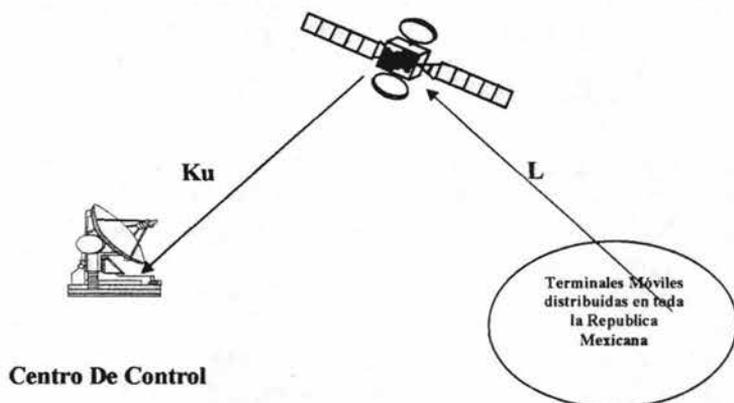


Figura 2-2 . Enlace de Regreso

En todo el sistema de comunicación la presencia del ruido es algo inevitable que genera una degradación de la señal útil, la relación portadora a ruido C/N , se refiere a la diferencia existente entre la potencia de la señal que se transmite y la potencia de ruido existente en el sistema. Se utilizara como indicador de la calidad de comunicación en el sistema de microondas vía satélite.

La metodología de calculo empleada se basa en dividir el calculo de enlace satelital en las siguientes partes principales

1. Parámetros Preliminares
2. Datos del enlace
3. Datos del satélite
4. Datos del estación transmisora y receptora
5. Parámetros del Enlace ascendente
6. Parámetros del Enlace descendente

7. Evaluación del enlace

Cada una de las partes anteriores aglutinan a una serie de conceptos físicos y procedimientos matemáticos que nos permiten manejarlos por separado, en las primeras partes se buscan los datos para el enlace total, en las siguientes partes se trata de obtener las relaciones C/N totales correspondientes, en tanto que en la última parte se determinará el margen de enlace.

El margen de enlace es el parámetro que nos indica la calidad total del enlace, que considera los requerimientos de calidad en la información del equipo receptor y la calidad de la información proporcionada por el enlace.

Cuando se diseña un enlace debe de tomarse encuentra algún criterio de diseño que fije las condiciones en las que se espera, o bien, se desea que el enlace opere satisfactoriamente, de ahí que una vez establecidos dichos criterios se considera si el margen de enlace es bueno o no; en caso de ser satisfactorio, se da por concluido el cálculo y se procede a la recuperación de los valores correspondientes a los parámetros más relevantes que son la pira de la estación terrena y la pira del satélite por portadora, esto es, las potencias controlables de nuestro enlace. Para el caso en el que el margen de enlace no sea el adecuado se realiza nuevamente el cálculo bajo diferentes condiciones de potencia, para las cuales debemos de cambiar el valor de potencia con la que transmite la estación terrena, o el diámetro de la antena hasta obtener los resultados deseados.

2.2 Parámetros preliminares

2.2.1 Parámetros de las antenas

I Ganancia de antena

La ganancia de una antena dada se puede definir como razón de la potencia que radia o recibe por unidad de ángulo sólido entre la potencia que recibe o radia por unidad de ángulo sólido sin unidades. Con unidades dB se debe obtener su logaritmo.

Si la antena circular no tuviera pérdidas se tomara en cuenta la área típica de un círculo para una antena circular En el caso de la

recepción, si una onda electromagnética que llega de una fuente distante (en este caso del satélite) incide sobre la antena, la antena absorbe la potencia contenida en su zona de apertura efectiva. Si la antena fuese perfecta y sin pérdidas, esta zona de apertura efectiva A_e sería igual a la zona real proyectada o una área de un círculo. En la práctica, teniendo en cuenta las pérdidas y debido a la uniformidad de la ley de iluminación de la apertura.

$$G_{\max} = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Donde:

A_e = Área efectiva de la antena = $(\eta) (A)$ Ecuación 2.2

A = Área típica de una antena circular $4\pi r^2$ (diámetro²)

η = eficiencia de la antena con valores típicos de 0.5-0.8 %

λ = es la razón de longitud de onda en metros = a la frecuencia de operación y la velocidad de propagación de la onda electromagnética (velocidad de la luz).

La eficiencia η es alrededor de una de 0.5 y 0.6 sin unidades este valor suele ser dado por el fabricante.

Los conceptos anteriores se han dado para una antena transmisora y según el teorema de reciprocidad, son también aplicables a una antena que funcione en modo de recepción y uniendo estas formulas obtenemos la ganancia total de antena considerando su área efectiva quedando de la siguiente manera

$$G = 10 \text{ Log } \eta (\pi D^2 F / C)^2 \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Donde:

η : eficiencia de la antena

π : constante Pi

D : diámetro de la antena [metros]

F : frecuencia de operación (ascendente o descendente según sea el caso) en [Ghz]

C : velocidad de la luz $(3E8)$ [m/s²]

Consecuencias: la eficacia (eficiencia) es un factor muy importante en el diseño de antenas. Se utilizan técnicas especiales para optimizar la eficacia de las antenas de las estaciones terrenas. La eficacia de la antena η puede dividirse en dos factores: η_A eficacia de la propia antena y las pérdidas debidas a la alimentación, expresadas normalmente en decibelios.

En la transmisión, las características más importantes de una estación terrena es su η , en consecuencia, la ganancia de la antena es la característica de funcionamiento más importante de un sistema de antena en la banda de operación.

Sin embargo, en la banda de frecuencias de recepción, la característica más importante de un sistema de antena no es su ganancia por si misma, si no la relación global G/T (ganancia de la estación terrena en el modo de recepción incluyendo pérdidas de alimentador y línea de transmisión con respecto a la temperatura total de ruido del sistema receptor).

II Interferencias

Las propiedades direccionales de una antena puede representarse por sus diagramas de radiación tal como se indica en la figura 2.4. donde aparecen el lóbulo principal y los lóbulos secundarios los cuales generan las interferencias y el lóbulo principal donde se encuentra la anchura total de haz a mitad de potencia (-3 dB) viene dada por la siguiente formula:

$$\theta_{3dB} = (70)(\lambda/D) \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Donde:

λ = es la longitud de onda de la señal

D = es el diámetro de la antena

- Ancho de haz a 3 dB
- Nivel de lóbulos secundarios
- Nivel de polarización cruzada

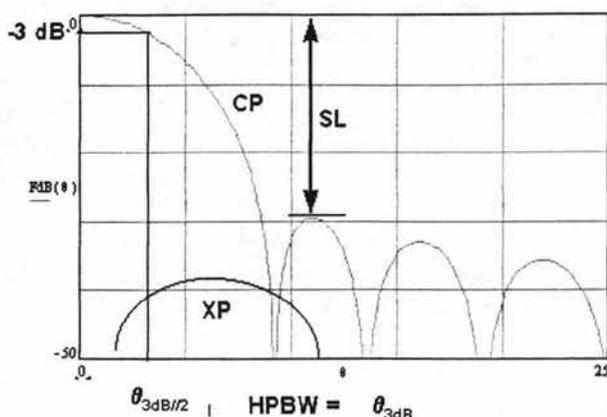


Figura 2 -3 Diagrama de radiación

Las estaciones terrenas utilizan antenas muy direccionales, la ecuación puede generalizarse para cualquier nivel de potencia. Por ejemplo, la anchura de haz de 10dB, es decir el ángulo que forman las direcciones en que la potencia (recibida o transmitida) se reduce 1/10

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

No obstante, parte de la potencia residual se radia por los lóbulos laterales. A su vez, debido al teorema de reciprocidad, 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 de RF). Por 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 antena y la teoría de difracción muestra que no pueden

suprimirse del todo. No obstante, los lóbulos laterales se deben también parcialmente a los defectos propios de la antena.

Las características de los lóbulos laterales de las antenas de la estación terrena constituyen uno de los factores principales para determinar la separación mínima entre satélites, y por tanto la eficacia de la utilización del recurso orbita-espectro.

La recomendación 465 de la Unión internacional de Telecomunicaciones da un diagrama de radiación de referencia que utiliza en la coordinación y en la evaluación de interferencias. Este diagrama de radiación contiene a los siguientes términos:

Para antenas con una relación diámetro/longitud de onda (D/λ) mayor a 100 se tiene el siguiente nivel de lóbulo:

$$G(\theta) = 32 - 25 \log \theta \quad \text{dBi} \quad \text{para } 1^\circ < \theta < 48^\circ \quad \text{Ecuación 2.5}$$
$$\text{Para } 48^\circ < \theta < 180^\circ = -10 \text{dBi}$$

Para antenas con $D/\lambda < 100$: se tiene el siguiente nivel de lóbulo:

$$G(\theta) = 52 - 10 \log D/\lambda - 25 \log \theta \quad \text{dBi} \quad \text{para } 100^\circ/D < \theta < 48^\circ$$

Ecuación 2.6

$$G(\theta) = -10 - 10 \log D/\lambda \quad \text{dBi} \quad \text{para } 48^\circ < \theta < 180^\circ \quad \text{Ecuación 2.7}$$

La recomendación 580 establece los objetivos de diseño para las nuevas antenas perfeccionadas de estación terrena (las antenas que instalaran después de 1987 deben de diseñarse de forma que el 90% de las crestas del lóbulo lateral no exceda de:

$$G(\theta) = 29 - 25 \log \theta \quad \text{dBi} \quad \text{para } D/\lambda > 150^\circ \quad \text{Ecuación 2.8}$$

En la figura 2-5 se muestra algunos ejemplos de los diagramas de lóbulos de radiación

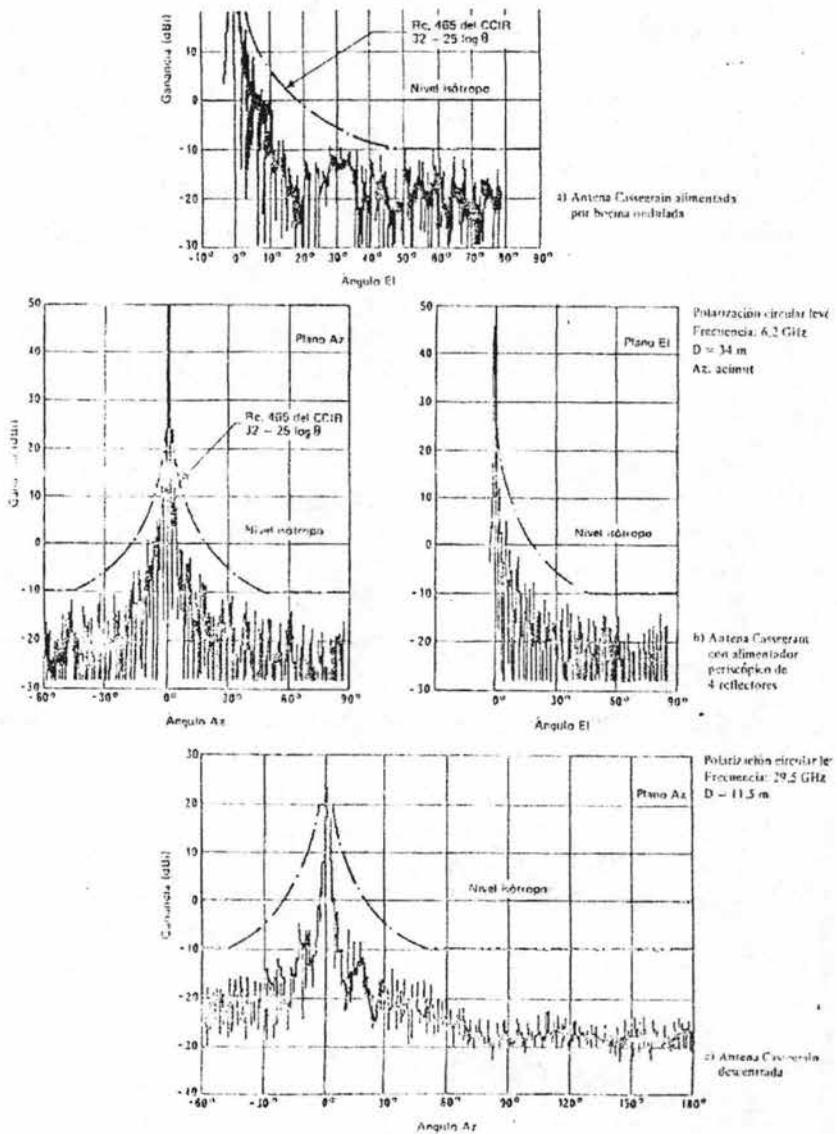


Figura 2 -4 diagramas de lóbulos de radiación

III Temperatura de ruido de la antena

La temperatura de ruido de la antena debe de mantenerse lo más baja posible, mediante el diseño adecuado para obtener un factor de calidad elevado y se muestra en la figura 2.5.

A continuación se enumeran las fuentes principales del ruido de la antena

- Ruido de atenuación atmosférica. Este ruido disminuye rápidamente con el ángulo de elevación de la antena, pues a medida que aumenta la elevación es menor la longitud de los rayos de la atmósfera.
- Ruido cósmico.
- Ruido de tierra debido a la emisión de energía de ruido por el suelo (el suelo absorbe las ondas de RF y por lo tanto actúa como un cuerpo gris cuanto menor es el nivel del lóbulo lateral en la dirección del suelo, menor es la contribución al ruido).
- Perdidas diversas (polarización cruzada, perdidas de alimentador, perdidas de la línea de transmisión, etc.)

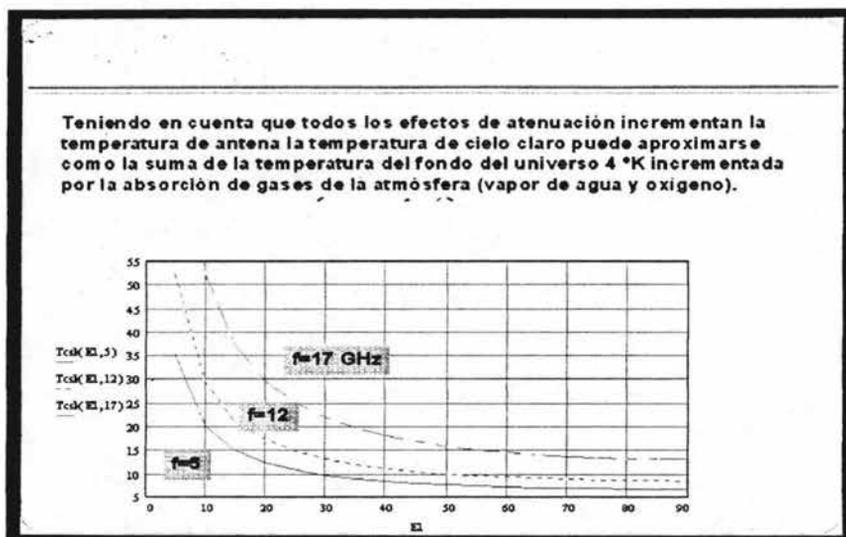


Figura 2 -5 Temperatura de ruido de antena en función del ángulo de elevación

Las pérdidas del alimentador L_f incluyen las fugas y pérdidas del sistema receptor debidas a la fuente primaria (bocina), al Duplexor, al transductor de modo y al polarizador, así como otras pérdidas de circuito (pérdidas óhmicas y dieléctricas). Estas pérdidas deben mantenerse lo más bajas que sea posible. Además las pérdidas del enlace (guía de onda) entre la salida de recepción del sistema de antena y a la entrada del amplificador de bajo ruido se incluyen en L_f . Por lo tanto, este enlace debe ser muy corto (el amplificador de bajo ruido se sitúa por lo general en el acceso de recepción de la antena.).

Atenuación atmosférica (L_{atm} dB)	Temperatura de ruido adicional de la antena ΔT_A
0.5 dB	27°K
1 dB	51°K
2 dB	92°K
3 dB	124°K
0.5 dB	170°K

Tabla 2-1 ejemplos típicos de la temperatura de ruido de una antena

2.2.2 Polarización

La polarización de una onda de R_f radiada(o recibida) por una antena se define por la orientación del vector eléctrico E de la onda. Este vector perpendicular a la dirección de la propagación puede variar en dirección y en la intensidad durante un periodo T de la onda de R_f , f frecuencia eléctrica)

$$T = 1/f \text{ Ecuación 2.9}$$

Esto significa que, al desplazarse una longitud de onda durante el periodo T , el vector E no solo oscila en intensidad sino también puede girar.

En el caso más general, la proyección de la punta del vector E sobre un plano (P) perpendicular a la dirección de propagación describe una elipse durante el periodo: la llamada elipse de polarización.

La polarización elíptica se caracteriza por los tres parámetros siguientes:

- El sentido de rotación visto desde la antena(y mirando en el sentido de la propagación): dextrógira es decir en el sentido de las manecillas del reloj) o levógira (es decir, en el sentido contrario al de las manecillas del reloj):
- La relación axial de la elipse(relación axial de la tensión)
- El ángulo de inclinación de la elipse

La mayoría de las antenas prácticas con polarización lineal, que son los casos particulares más comunes 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 en intensidad). La polarización circular se obtiene cuando la relación axial es 1

Para cualquier polarización elíptica puede definirse una polarización ortogonal que tiene sentido inverso de rotación, la misma relación axial y el ángulo de inclinación = $r + 90^\circ$. Puede observarse que dos ondas de polarización ortogonal 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 con una determinada polarización incide sobre una antena, se recibirá toda la potencia en e el accesos para el que se acopla la señal y ninguna en el otro a acceso. Por lo tanto, la misma antena puede recibir o 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 vertical) y las circulares ortogonales (circulara levógira y circular dextrógira).

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 levógira y otra con polarización circulara dextrógira.

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 circular dextrógira se recibe en una antena imperfecta, parte de la potencia (deseada) se perderá en el acceso de recepción de la polarización dextrógira (debido a su desadaptación) y se recibirá alguna potencia (no deseada) en el acceso de la polarización circular levógira, causando con ello interferencia, la relación de potencia no deseada (relación de potencia de la polarización levógira a dextrógira) se denomina aislamiento dB

La onda de RF radiada por cualquier antena (imperfecta) tiene una componente que se denomina de la misma polarización y una polarización cruzada, es decir una componente no deseada. Por lo tanto, la radiación de una antena en cualquier dirección puede describirse (en transmisión o en recepción) por un diagrama de radiación copolar y por un diagrama de radiación de polarización cruzada (que debe de minimizarse mediante un diseño apropiado.). El nivel de la componente de polarización cruzada respecto al nivel de la componente copolar se dan en datos del fabricante. Por ejemplo para poder reutilizar la frecuencia por polarización ortogonal, INTELSAT especifica la pureza de polarización, que debe de ser tal que la relación axial de tensión de las nuevas estaciones terrenas no exceda de 1.06 en la dirección del satélite. Esto significa que una antena del satélite (teóricamente perfecta) recibirá interferencia de polarización cruzada de las portadoras de transmisión de la estación terrena a un nivel inferior en 30.7 dB a sus portadoras copolares (de destino normal.)

2.2.3 Factor de calidad en recepción

El factor de calidad, que es la característica de funcionamiento más importante de una estación terrena en el modo de recepción, es la relación que hay entre la ganancia G de la antena (a la frecuencia de recepción y en la dirección del satélite) y a la temperatura total de ruido T (referida a la entrada del receptor), aunque no es esta una característica de la antena sola, conviene mencionar en este punto algunos datos adicionales sobre G/T , pues un buen diseño de la antena implica la optimización de la relación global G/T (tomando como parámetro la temperatura de ruido del receptor T_r).

La G/T se expresa normalmente en decibelios por Kelvin ($\text{dB (K}^{-1}\text{)}$) es decir:

En los sistemas que funcionan a frecuencias superiores a los 10 GHz, las especificaciones de las estaciones terrenas, en particular el factor de calidad G/T , deben de tener en cuenta las pérdidas de G/T debidas a los efectos atmosféricos y a la precipitación. Esta atenuación se especifica generalmente durante un porcentaje de tiempo determinado para la calidad deseada del sistema.

La fórmula general que se utiliza para especificar la relación G/T de las antenas de estación terrena, se expresan normalmente de la siguiente manera:

$$G/T_{E/T} = G_{RX} - 10 \log (T_s + \Delta T) \text{ Ecuación 2.10}$$

Donde:

$$\Delta T = (1 - \text{alogo (Margen de atenuación por lluvia/10)}) (275) \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_s = T_a + T_{LNA} \text{ Ecuacion 2.11}$$

La figura de mérito del equipo receptor del satélite refleja su capacidad para conseguir un alto valor de la relación señal a densidad espectral de potencia. Dos son los factores fundamentales que influyen en el valor de la figura de mérito:

La ganancia de la antena receptora del satélite junto con las pérdidas que sufre la señal hasta que llega a la entrada del receptor.

Estas pérdidas se deben al desapuntamiento del haz en recepción, a las pérdidas por un posible desacoplo de polarización y a las que introduce el alimentador del receptor

La temperatura de ruido del sistema en el enlace de subida.

Valores típicos para los parámetros anteriores son:

- Temperatura de ruido de la antena: 290K
- Temperatura del alimentador: 290K
- Temperatura efectiva de ruido del receptor: 500K
- Pérdidas en el alimentador: 1 dB
- Ganancia máxima en recepción:
- Para cobertura global: 20dB
- Para cobertura con haz estrecho: 38 dB

Con estos valores típicos tenemos que:

- Temperatura de ruido del sistema: 790K
- Factor de mérito para cobertura global: -13 dB/K
- Factor de mérito para haz estrecho: +5 dB/K

Por lo general este dato e s proporcionado en los datos del satélite.

2.2.5 Modelo de propagación

I Parámetros de atenuación por efectos atmosféricos

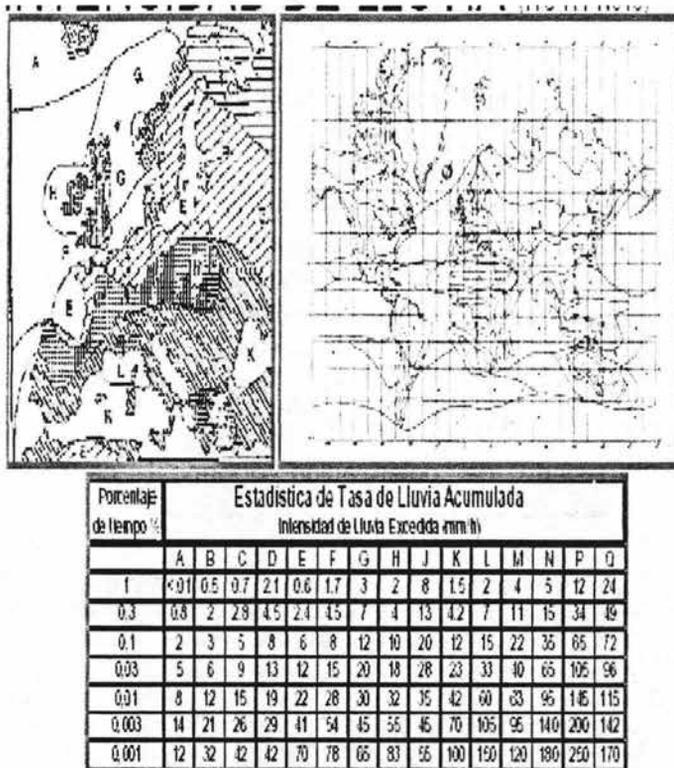


Figura 2 -6 zonas Hidrometeorológicas

En los países templados, para un ángulo de elevación superior a 10° y una frecuencia de 20 Ghz, la amplitud de cresta de las

fluctuaciones es generalmente inferior a 1dB y sólo excepcionalmente excede de 2 ó 3 dB.

Intensidad de lluvia	Potencia de compensación en dB													
	-	1	-	3	1	2	-	-	-	2	-	4	5	12
0.3	1	2	3	5	3	4	7	4	13	6	7	11	15	34
0.1	2	3	5	8	6	8	12	10	20	12	15	22	35	65
0.03	5	6	9	13	12	15	20	18	28	23	33	40	65	105
0.01	8	12	15	19	22	28	30	32	35	42	60	63	95	145
0.003	14	21	26	29	41	54	45	55	45	70	105	95	140	200
0.001	22	32	42	70	78	65	83	55	55	100	150	120	180	250

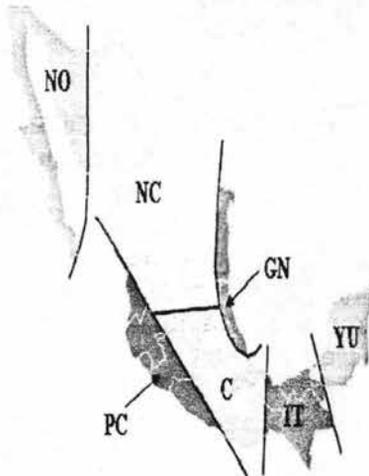
Tabla 2-2 zonas hidrometeorológicas.

Para aumentar la utilización de los canales sin incrementar el ancho de banda, pueden utilizarse polarizaciones ortogonales (lineales o circulares) para efectuar transmisiones independientes en la misma frecuencia a lo largo del mismo trayecto. Sin embargo, la "reutilización de frecuencias" puede verse dificultada por la posibilidad de que en el curso de la propagación por la atmósfera, una parte de la energía transmitida en un estado de polarización se transfiera al estado de polarización ortogonal, causando así interferencia entre los dos canales.

Esté fenómeno, denominado habitualmente transpolarización, puede deberse a la lluvia y a hidrometeoros distintos de la lluvia y aparecer en el curso de periodos de propagación por multi trayectos; Una onda transmitida conforme a una polarización concreta (lineal o circular) no retiene esa polarización al propagarse a través de la atmósfera porque intervienen dos factores totalmente distintos, uno relacionado con la ionosfera y el otro con la troposfera.

Las pérdidas debidas a la precipitación y la nebulosidad en los enlaces por satélite son representadas por tablas que la compañía de servicio satelital proporciona donde se ven los márgenes de atenuación a causa de la lluvia y su compensación dependiendo de la disponibilidad requerida.

Márgenes de atenuación



Zona Hidrometeorológica		Disponibilidad		
		99.50% (dB)	99.80% (dB)	99.90% (dB)
Nor Occidente NO	Tx	1.50	3.00	3.50
	Rx	0.00	1.00	1.50
Norte Centro NC	Tx	0.00	1.00	1.30
	Rx	0.00	0.00	0.00
Golfo Norte GN	Tx	3.60	6.60	9.20
	Rx	1.60	4.60	7.20
Centro CE	Tx	2.20	4.20	6.30
	Rx	0.20	2.20	4.30
Pacífico Centro PC	Tx	3.60	5.90	8.50
	Rx	1.60	3.90	6.50
Istmo IT	Tx	2.50	5.60	8.20
	Rx	0.50	3.60	6.20
Yucatán YU	Tx	2.90	6.00	8.90
	Rx	0.90	4.00	6.90

Figura 2 -7 Márgenes de atenuación

Esta es una parte importante sobre todo en la banda de operación en la que se esta, Las bandas que trabajan más de 10 Ghz sufren una atenuación por lluvia la cual debe de ser compensada por una cantidad de decibeles al hpa de las estaciones transmisoras dependiendo de la disponibilidad requerida

El proveedor del servicio satelital proporciona tablas en las cuales se dan valores que serán incluidos en el calculo de enlace y dependiendo la zonas que se están enlazándose se tomaran los valores requeridos. Principalmente se presenta este fenómeno el la banda Ku

Il Atenuación debida a los gases atmosféricos y las nubes

El método de predicción de la atenuación debida a la lluvia antes es un método semi empírico; los coeficientes contenidos en las

distintas ecuaciones están determinados de modo que los resultados calculados se acercan lo más posible los resultados de las mediciones que incluyen todas las atenuaciones.

Por ello, los valores de atenuación calculada por el método descrito comprenden la atenuación debida a los gases, las nubes, por lo menos en frecuencias iguales o inferiores a 40 Ghz.

III Centelleo troposférico

La amplitud de las fluctuaciones rápidas de nivel de las señales recibidas, debidas al paso por la troposfera, depende de un amplio número de parámetros.

Es mayor en las frecuencias altas, en los ángulos de elevación bajos y en las ganancias de antenas bajas. También es superior en verano que en invierno, en los climas tropicales que en las regiones templadas y en tiempo nublado que en claro.

IV Rotación del plano de polarización provocada por la Ionosfera

Dado que la ionosfera es un plasma sometido al efecto de un campo magnético, una onda de polarización lineal se descompone en dos componentes principales, derecha e izquierda, que no efectúan el recorrido a la misma velocidad. Después de abandonar la ionosfera, esas dos componentes se recombinan en una onda de polarización lineal; sin embargo, el plano de polarización de esa nueva onda ha rotado con respecto a la onda incidente. En las frecuencias más bajas, esa rotación puede significar un número considerable de giros (rotación de Faraday)

- ✦ Consiste en una rotación del vector de polarización lineal.
- ✦ Se debe a la ionización de la ionosfera.
- ✦ Es proporcional a $1/f^2$. Insignificante por encima de 10GHz
- ✦ Produce pérdidas por desacople de polarización. $L_{POL} = -20 \log(\cos^2 \gamma)$
- ✦ Produce XPD = $-20 \log(\tan^2 \gamma)$
- ✦ Puede compensarse girando la polarización de la antena receptora, a no ser que sea la misma antena de transmisión, ya que el giro es contrario en uno y otro sentido del enlace.
- ✦ La polarización circular apenas se ve afectada.

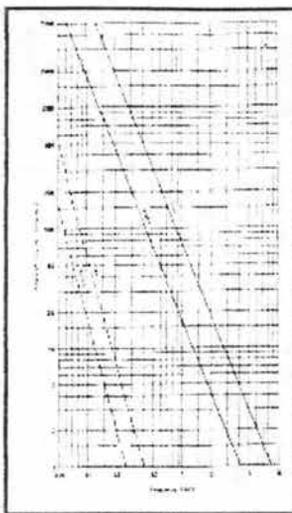


Figura 2 -8 Rotación de Faraday

La rotación del plano de polarización alcanza sus niveles máximos:

- a. Cuando la dirección de propagación es paralela al campo magnético de la tierra
- b. Durante el día (cuando se observa la ionización máxima).
- c. Cuando los ángulos de elevación son pequeños.

Los valores altos de ángulos de rotación en frecuencias inferiores a 1 Ghz conducen al empleo de antenas de polarización circular en esas bandas de frecuencias, A partir de 2 a 3 Ghz pueden utilizarse sistemas de alimentación de antena de polarización lineal porque el ángulo de rotación resulta muy pequeño; por encima(o transpolarización) de la atmósfera no ionizada se produce de distintos modos

V Despolarización en cielo despejado

El término de despolarización describe el mecanismo por el que una parte de la energía radiada en una polarización se halla, después de la propagación, en una polarización ortogonal. El efecto de

despolarización de la onda (o transpolarización) de la atmósfera no ionizada se produce de distintos modos:

a. Despolarización en cielo despejado

La reflexión en capas parcialmente reflectoras puede dar una polarización ortogonal de la onda en relación con la onda transmitida. Ese efecto importante en los enlaces horizontales (radió enlaces) puede ignorarse en los enlaces de trayecto oblicuo.

b. Efecto de las gotas de lluvia

Debido a su forma oblata, las gotas de lluvia producen una despolarización de las ondas que afecta a los enlaces de satélite y terrenales. Puede observarse que la discriminación por polarización cruzada, XPD en dB, guarda relación con la atenuación de la polarización de transmisión.

c. Efecto de los cristales de hielo

Existe una tercera causa de despolarización, cuyo efecto se percibe sólo en los enlaces de comunicación por satélite y que se debe a la difracción de la onda provocada por los cristales de hielo hallados en alturas elevadas. Los cristales de hielo se hallan por encima de la banda brillante observable por radar, causada por una región cercana a la ionosfera de 0° en la que los cristales de hielo se convierten parcialmente en líquido. La despolarización resulta del hecho de que las partículas de hielo esta alineadas por los campos eléctricos muy fuertes existentes en esas altitudes. El efecto respectivo de la lluvia y de las partículas de hielo sobre la despolarización varía con el clima. Conviene señalar que, como causa de interferencia, la despolarización debida a los cristales de hielo puede ser muy intensa porque no está asociada a la atenuación.

Para ángulos de elevación que exceden de unos 15° , puede esperarse que la discriminación por polarización alcance valores del orden de:

- 27 dB durante el 01% del tiempo,
- 20 dB durante el 0.01% del tiempo
- 15 dB durante el 0.0001% del tiempo.

2.2.6 Temperatura de ruido total del sistema

La temperatura de ruido total del sistema de un enlace por satélite: Esta definida por la temperatura de ruido referida a la salida de la antena receptora de la estación terrena que corresponda a la potencia de ruido de radiofrecuencia que produce el ruido total observado en la salida del enlace por satélite más la temperatura de ruido del LNA, con exclusión del ruido debido a interferencias provocadas por los enlaces por satélite y por los sistemas terrenales.

Cada elemento en la cadena de recepción puede ser asignada a una temperatura de ruido, la cual es una medida de potencia de ruido contribuida por el elemento por unidad de ancho de banda. Esas contribuciones son combinadas para reflejar la potencia de ruido por la distribución de la ganancia a través de la cadena. En general, la temperatura de ruido de el sistema es determinado primariamente por la antena, al amplificador de bajo ruido (LNA) y los componentes de acople de esos elementos. La suma de pequeñas pérdidas, tales como la atenuación en el cable, entre el LNA y la antena puede resultar en degradación significativa de la figura de mérito G/T .

I Ruido térmico

Tenemos dentro de este grupo diversas fuentes de ruido de gran importancia:

1. La Tierra para las antenas del satélite
2. El cielo para las antenas de las estaciones terrenas
3. Los propios componentes de los receptores.

Los dos primeros vienen caracterizados, a la hora de hacer los cálculos por las Temperaturas de Ruido de las antenas

II Ruido de interferencias

El ruido debido a las interferencias tiene su origen en comunicaciones ajenas a las de la red que usan las mismas bandas de frecuencias.

En el enlace de subida son fuentes de ruido las estaciones terrenas pertenecientes a otros sistemas geoestacionarios y las transmisiones terrestres por microondas.

En el enlace de bajada son fuentes de ruido los satélites adyacentes al propio y también las transmisiones terrestres por microondas.

Ha de destacarse que este tipo de interferencias pueden ser producidas por antenas pertenecientes a redes ajenas a la nuestra, pero también pueden ser debidas a las de nuestro propio sistema (cuando se usa polarización cruzada o la misma banda de frecuencias en distintos haces).

III Observación sobre la interferencia solar

El ruido cósmico, es decir la temperatura de ruido de la antena debida a las Fuentes radioeléctricas extraterrenales puede aumentar si una fuente radioeléctrica discreta intensa cae dentro del haz principal de la antena(o incluso, posiblemente, en los lóbulos laterales).las fuentes principales del aumento de temperatura de ruido de la antena son el sol, en primer lugar, y en segundo lugar, la luna.

En la práctica, una estación terrena se ve sometida a interferencia e incluso a interrupciones cuando el sol se encuentra en coincidencia con el satélite, es decir, cerca de la dirección entre la estación terrena y el satélite.

El ruido total a tener en cuenta en el enlace será debido a la suma de la contribución de cada una de las fuentes de ruido por separado.

$$T_s = T_{LNA} + T_{ANT} \text{ Ecuación 2-11}$$

Donde: T_{LNA} oscila entre 90 y 150 °K

T_{ANT} oscila entre 10y 80 °K.

Ruido de intermodulación

Cuando se usa un acceso del tipo TDMA no aparecen problemas de intermodulación, porque en cada intervalo de tiempo se amplifica una portadora. Ahora bien, cuando el acceso es del tipo FDMA, CDMA o un híbrido FDMA/TDMA aparecen los llamados productos de intermodulación, que originan señales a frecuencias iguales a la

combinación lineal de las frecuencias usadas en las portadoras iniciales.

El valor de ruido por intermodulación se encuentra en las tablas del satélite utilizado en este caso Satmex proporciona la información requerida incluida en el apéndice de esta tesis datos con los cuales sacaremos la relación Portadora-ruido de intermodulación.

2.2.7 Características del sistema de acceso TDMA, FDMA, SCPC Y CDMA

Dependiendo del tipo de acceso que se tenga al satélite afectara la calidad de nuestro enlace debido a la intermodulación que se genera por manejar múltiples portadoras tal es el caso de (FDMA, SCPC) En TDMA no se tiene este problema debido a que es por división de tiempo se manejan diferentes portadoras evitando la generación de productos de intermodulación.

FDMA es la técnica mas antigua que tiene varios canales por portadora, en las modalidades de; una portadora por estación, asignación fija y asignación por demanda, debido a estos tipos de acceso, se producen interferencia debido a los productos de intermodulación que generan los amplificadores al manejar mas de una portadora y afecta al señal también generan interferencia por canal adyacente e interferencia entre símbolos estos valores vienen en tablas son datos de los amplificadores utilizados en la estación terrena y el satélite .

En el acceso TDMA no se presentan estos casos debido a que solo se maneja una portadora en diferentes tiempos, sin embargo se tienen problemas de sincronización.

En el CDMA se presentan interferencias de símbolos además que se ocupa un gran ancho de banda, aunque ofrece un nivel alto de seguridad por la codificación utilizada.

La transmisión se efectúa a 120 Mbit/s con modulación por desplazamiento cuadrifásica (mdp-4). El flujo digital tiene una codificación de transición y la modulación es coherente. El cuadro 2.9 da los distintos márgenes que permiten establecer las relaciones E/N_0 y C/T requeridas para obtener las proporciones de bits erróneos especificadas durante los porcentajes de tiempo indicados en los objetivos de calidad.

Proporción de bits erróneos especificada	10^{-6}	10^{-4}	10^{-3}
E/No teórica requerida (dB)	10.8	8.8	7.3
Margen de degradaciones debidas a :	1.5		
• El modem y la interferencia entre símbolos	1.3	0.8	0.7
• Las no linealidades del transpondedor	1.2	0.7	0.5
• Las no linealidades del TOP en la estación terrena	1.2	1.1	0.8
• La transmisión con polarización ortogonal	3.4	2.3	3.5
• La transmisión por los canales adyacentes	18.2	13.7	12.8
• La interferencia precedente de redes terrenales	-	-	-
• E/No requerida (dB)	129.6	134.1	135.0
• C/T _y requerida (dB(W/K)			

Tabla 2-7 calculo de las relaciones portadora/ temperatura de ruido (C/T) requeridas para proporciones de bits erróneos dadas, en enlaces con TDMA vía satélite

2.2.8 Temperatura de ruido del satélite

La temperatura de ruido equivalente del enlace ascendente en la salida de la antena del satélite está dada por la siguiente formula

$$T_u = T_A + T_e \quad \text{Ecuación 2-12}$$

La temperatura de ruido de la antena receptora del satélite, T_A es igual a la temperatura de ruido de la tierra, esto es 290°K La atmósfera, que puede considerarse como un atenuador a la temperatura de 290°K , no afecta a la temperatura de ruido, T_A , recibida por la antena del satélite.

La temperatura de ruido debida a la atenuación atmosférica en el enlace descendente, T_a , es igual a $290(1-1/A_a)$, en donde A es la atenuación atmosférica en el enlace descendente.

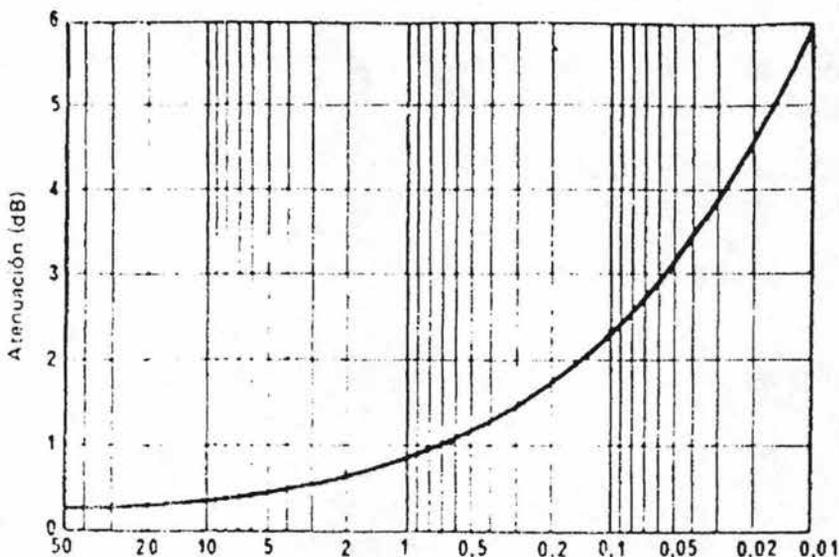


Figura 2 -9 distribución de la atenuación

La temperatura de ruido equivalente de la estación terrena, T_s que incluye la temperatura de ruido de la antena, asciende a 230 °K.

En el cálculo de enlace se obtiene la relación portadora /ruido (C/No) obtenida en la estación receptora, durante los distintos porcentajes de tiempo especificados en los objetivos de calidad, para un enlace comprendido entre una estación emplazada en el límite de la zona de cobertura.

Se supone que el tiempo despejado corresponde al enlace ascendente. En realidad sería válido solamente a 6Ghz, por ejemplo, puede transmitirse normalmente una pira suficiente desde la estación terrena para saturar el TOP del satélite, incluso en condiciones de atenuación atmosférica muy severas. Debe señalarse que cuando no pueda efectuarse el aumento de pira, desde la estación terrena, habría que efectuar los cálculos para ambos casos, esto es. Tiempo despejado para el enlace ascendente y atenuación atmosférica en el enlace descendente y viceversa, suponiendo que los fenómenos (precipitación sobre el enlace ascendente o el enlace descendente).

2.3 Datos del Enlace

Dentro de los datos que se deberán de obtener para realizar un enlace son:

- Datos del Satélite
- Datos de la señal a transmitir
- Datos de la estación transmisora y receptora
- Datos del satélite para las localidades de interés

De los datos anteriores para el caso del satélite es donde se requiera una mayor cantidad de datos dentro de los cuales se encuentran:

- Posición del satélite
- Figura de merito (G/T) del satélite dB /°k
- Back off de entrada en el transpondedor
- Relación G/T del transpondedor
- Relación c/x por satélites adyacentes
- Relación por intermodulación
- Potencia de densidad de flujo
- Potencia radiada isotropica efectiva(p.i.r.e.)en el centro del haz
- Potencia radiada isotropica efectiva(p.i.r.e.)en el borde del haz
- Back off de entrada
- Back off de salida
- Atenuador de pasos (a.t.p)
- Zonas de coberturas
- Numero de transponder
- Tipo de polarización

Para los datos de la señal a transmitir, es necesario obtener a los siguientes:

- Velocidad de los bits de datos
- Ancho de banda asignado
- Tipo de modulación
- Tas de bits erróneos
- Eb/No

- Factor de corrección (Fec)
- Velocidad de símbolo
- Factor de ensanchamiento del espectro

Datos de la estación transmisora y receptora

- Localidades a enlazar
- Latitud
- Longitud
- Diámetro de antena
- Ganancia de antena Tx
- Ganancia de antena Rx
- Temperatura total del sistema
- Eb/No
- B.O.O del HPA E/T
- Perdidas del alimentador y guía de onda
- Ganancia de la estación terrena.
- Datos del satélite para las localidades de interés
- La potencia para la localidad de interes
- Pire en el centro del haz
- Pire en el borde del haz
- Ganancia del satélite incluyendo antenas
- Dfs
- P.I.R.E.
- G/T
- Margen de atenuación por lluvia

2-4 Cálculos preliminares

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

2.4.1 Ancho de banda

El ancho de banda aquí calculado, es el que la señal de comunicación necesita para transmitirse y se relaciona con la cantidad de ruido total que afectara en las relaciones C/N que

define la calidad del enlace. El dato de la distancia nos servirá para evaluar las pérdidas de potencia debidas a la dispersión de la energía de la señal en la trayectoria de propagación, para obtener este parámetro, necesitamos conocer el ángulo de elevación por lo que este se evalúa. En lo que respecta al ángulo de acimut, se calcula como complemento al ángulo de elevación para tener completa la referencia y estar en condiciones de apuntar una antena hacia el satélite, aunque restaría hacer la consideración debido a la declinación magnética.

Dentro de los cálculos preliminares se encuentra el ancho de banda del canal ocupado del transponder que dependerá del servicio que queramos manejar así como de la calidad y velocidad de información. Estos parámetros están íntimamente ligados con el MODEM satelital o unidades de canal de la estación terrena, debido a que es la que nos definirá el tipo de modulación que en conjunto nos definirán el ancho de banda

$$AB = V_{inf} (fec)^{-1} (1 + F.M) \quad [\text{kHz}]. \text{ Ecuación 2-13}$$

Donde:

V_{inf} = velocidad de información

FEC. = factor debido al código de corrección de errores por adelantado

F.M = factor de modulación, su valor depende de la modulación empleada

Si la modulación es BPSK $F.M = 1$

Si la modulación es QPSK $F.M = 0.5$

2.4.2 Ángulo de acimut

El ángulo acimutal se define como el ángulo medido en el sentido de las manecillas del reloj desde el norte real, hasta la intersección del plano horizontal local y el plano que pasa por el centro de la tierra, el satélite y la estación terrena. El ángulo de acimut esta entre 0-360°.

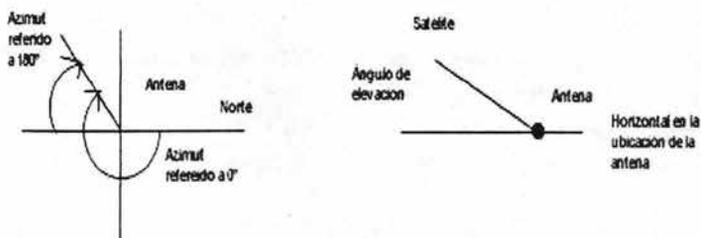


Figura 2 -10 ángulo de azimut

Dependiendo de la localización de la estación terrena con respecto al punto satelital (el punto del ecuador, que intercepta a la línea entre el centro de la tierra y el satélite).

El ángulo de acimut esta dado por:

$$A = \text{tang}^{-1} (\text{tang} [\text{Long}_{\text{sat}} - \text{Long}_{E/T}] / \text{Sen Lat}_{E/T} \text{ Ecuación 2-14}$$

DONDE

- Long_{sat} = Longitud del satellite
- $\text{Long}_{E/T}$ = Longitud de la estación terrena
- $\text{Lat}_{E/T}$ = Latitud de la estación terreno

Dependiendo de la región en donde se encuentre la estación terrena se tomara los siguientes datos:

Hemisferio Norte

E/T Al oeste del Satélite : $A' = 180 - A$

E/T Al este del Satélite : $A' = 180 + A$

Hemisferio Sur

E/T Al oeste del Satélite : $A' = A$

E/T Al oeste del Satélite : $A' = 360-A$

2.4.3 Ángulo de elevación

$$E = \text{tag}^{-1} [R - R_E (W) / (R_E \text{ SEN} (\cos^{-1} w))] - \cos^{-1} w \quad \text{Ecuación 2-15}$$

Donde:

- R = distancia promedio del centro de la tierra al satélite 42164,2 Km. para un satélite geoestacionario
- R_E = radio promedio de la tierra 6378.155 Km.
- $W = \cos \text{lat}_{e/t} (\cos [\text{longitud sat} - \text{long}_{e/t}])$

2.4.4 Distancia entre E/T y el Satélite

$$D = \{R^2 + R_E^2 - (2R_E (R) \text{ Sen}(E + \text{Sen}^{-1} ((R_E/R) \text{ Cos } E)))\}^{1/2} \quad \text{Ecuación 2-16}$$

2-5 Parámetros del enlace ascendente

En la parte se evalúa la relación C/N asc 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 se evalúa la relación C/N asc .es decir, la relación de potencia de la portadora respecto al ruido propio del equipo receptor del satélite, en el que interviene la potencia del transmisor de la estación terrena conocida como P.I.R.E, las pérdidas debidas a la dispersión, la absorción de energía por parte de la atmósfera, la perdida de apuntamiento, la diferencia en alineación de las polaridades de satélite y E/T , la atenuación que produce la lluvia y la características de ruido y ganancia del satélite.

Posteriormente, tienen que evaluarse las diferentes relaciones de interferencia que afectan al enlace ascendente, teniéndose lo siguiente

- Relación C/No ascendente
- Relación C/N ascendente
- Relación C/I ascendente
- Relación C/Satélite adyacente asc
- Relación C/X polarización cruzada asc
- Relación C/N ascendente total

2.5.1 Relación portadora a densidad de ruido ascendente

$$(C/N_o)_{Asc} = P.I.R.E. + G/T_{Sat} - K - L_S - \mu - L \Delta \text{ Ecuación 2-17}$$

Donde:

- P.I.R.E. E/T = Potencia Isotrópica Radiada Efectiva de E/T
- G/T_{Sat} = Dato del Satélite
- K = Constante de Boltzmann = -228.6 dB/°K
- L_S = Pérdidas en el Espacio libre (ascendentes) = $20 \log (4 \pi^2 f^2 d^2 / c^2)$
- f = Frecuencia ascendente
- d = Distancia de la E/T al Satélite
- c = velocidad de la luz
- μ = Margen de atenuación por lluvia ascendente
- $L \Delta$: Pérdidas Misceláneas, es la sumatoria de las pérdidas atmosféricas, apuntamiento y de polarización se valor aproximado es de 1 dB.

2.5.2 Relación C/N ascendente

L a relación portadora a ruido esta dada por la siguiente expresión

$$C/N = C/N_o \text{ Ascendente} - 10 \log (AB) \text{ Ecuación 2.18}$$

Donde:

C/N_o = Relación portadora a densidad de ruido

AB = ancho de banda de la señal a transmitir.

2.5.3 Relación C/I Intermodulación ascendente

$$C/I \text{ ascendente} = HPA_{int} - IPBO - 10 \log AB \text{ Ecuación 2-19}$$

Donde:

HPA_{int} = característica de los amplificadores del satélite

$IPBO$ = back off de entrada por portadora

AB = ancho de banda

$IPBO = -dfs - Pire + Lp + ATP$ Ecuación 2-20

Donde:

Dfs = Es la densidad de flujo de potencia

ATP = Atenuador de posición

$L_p = \text{Perdidas por dispersión } L_p = 10 \log((4\pi x d^2))$ Ecuación 1-5

Donde

D = distancia del satélite a la estación terrena.

2.5.4 Relación C/X polarización cruzada

$C_x = \text{INT asc CPOL} - \text{IPBO} - 10 \text{ LOG AB}$ Ecuación 2-21

Donde:

INT asc = Interferencia por polarización cruzada ascendente

IPBO = back off de entrada por portadora

AB = ancho de banda

2.5.5 Relación C/X ady

$C_{xady} = \text{INTSAT ADY} - \text{IPBO} - 10 \text{ LOG AB}$ Ecuación 2-22

Donde:

INTSAT ady = es la interferencia por satélite adyacente ascendente

IPBO = back off de entrada por portadora

AB = ancho de banda

2.5.6 Relación portadora a ruido ascendente del sistema

$$(C/N)_{\text{ASC-SIST}} = 10 \log \left[\frac{1}{\frac{1}{a \log_{10} (C/N)} + \frac{1}{a \log_{10} (C/I_m)} + \frac{1}{a \log_{10} (C/X_{pol})} + \frac{1}{a \log_{10} (C/X_{ady})}} \right] \quad \text{Ecuación 2-23}$$

Donde:

C/N = Relación Portadora-ruido ascendente

C/I = Relación Portadora-ruido de Intermodulación ascendente

C/X Relación Portadora-ruido por polarización cruzada

C/X ady = Relación C/X ady

2.6 Parámetros del enlace descendente

En la parte descendente se evalúa la relación C/N escrotal, que constituye la calidad del enlace en la comunicación entre el satélite y la estación fija o móvil, que toma en cuenta a las diferentes relaciones de interferencia que degradan el comportamiento del enlace al descenso.

Primeramente se evalúa la relación C/N des , es decir, la relación de potencia de la portadora respecto del ruido del equipo receptor de la estación receptora, en el que interviene la potencia de transmisión del satélite conocida como P.I.R.E por portadora, las pérdidas debidas a la dispersión, la absorción de energía por parte de la atmósfera, la pérdida de apuntamiento, pérdidas debido a la desviación de trayectos causadas por árboles, edificios , etc.(todo aquello que cruce su trayectoria), a la atenuación que produce la lluvia y a las características de ruido y ganancia de la estación receptora.

En el caso de las interferencias causadas al descenso tienen diferentes comportamientos dependiendo de la banda operación y el tipo de servicio proporcionado (fijo o móvil), adoptaremos valores constantes ya que en este caso particular las interferencias son muy pequeñas por lo que a continuación consideramos los siguientes valores

En el enlace descendente los cálculos serán los siguientes

- Relación C/No descendente
- Relación C/I descendente
- Relación C/X satélite adyacente
- Relación C/X polarización cruzada asc.

2.6.1 Relación portadora a densidad de ruido descendente

$$(C/N_0)_{Asc} = Pire_{SAT} + G/T_{E/T} - K - L_{SDES} - \mu_{des} - L_{\Delta DES}$$

Ecuación 2-24

Donde :

- $Pire_{SAT} = -DFS - ATP + B.O.I - L_p + Pire_{E/T} - B.O.O + Pire_{Saturation}$ ecuación 2.25

- $G/T_{E/T}$ = Dato de la estación receptora
- K = Constante de Boltzman = $-228.6 \text{ dB/}^\circ\text{k}$
- L_S = Perdidas en el Espacio libre (des) ecuación 1.4
- μ = Margen de atenuación por lluvia descendente
- L_{Δ} : Perdidas Misceláneas, es la sumatoria de las perdidas atmosféricas , apuntamiento y de polarizacion se valor aproximado es de 1 dB.

2.6.2 Relación portadora a ruido (C/N) descendente

$$C/N_{\text{Descendente}} = C/N_{\text{O Descendente}} - 10 \log AB \text{ Ecuación 2-26}$$

Donde:

$C/N_{\text{O descendente}}$ = Relación portadora/ densidad de potencia de ruido

AB= ancho de banda de la señal transmitida.

2.6.3 Relación C/I descendente

$$C/I: \text{ descendente} = -\text{SAT}_{\text{INTER}} - \text{OPBO} - 10\text{LOG} (AB) \text{ Ecuación 2-27}$$

Donde:

$\text{HPA}_{\text{INTER}}$ = característica de los amplificadores del satélite

OPBO = IBO-OBO-IPBO Ecuación 2.28

AB = ancho de banda de la señal

2.6.4 Relación C/X satélite adyacente

$$C/X : \text{ Satélite Adyac Descendente} = \text{Pire}_{\text{Sat}} - (\text{Int Des}_{\text{Sat Ady}} - G_{\text{Ant Rx}}) - 10 \text{ LOG} (AB) \text{ Ecuación 2-29}$$

Donde :

Pire_{Sat} = pire de saturation en el satélite

$\text{Int Des}_{\text{Sat Ady}}$ -= intermodulación por satélite adyacente

$G_{\text{Ant Rx}}$ = Ganancia de antena a la recepción

AB = ancho de banda de la señal

2.6.5 Relación C/X polarización cruzada descendente

C/X_{pol} Polarización cruzada Descendente = $- \text{Int}_{Des} C_{pol} - \text{OPBO} - 10$ Ecuación 2.30

Donde

$\text{Int}_{Des} C_{pol}$ = intermodulación por polarización cruzada

OPBO = back off por portadora de salida

2.6.6 Relación portadora a ruido C/N del sistema descendente t

$$(C/N)_{ASC - Descendente} = 10 \log \left[\frac{1}{\frac{1}{a \log \frac{(C/N)}{10}} + \frac{1}{a \log \frac{(C/I_m)}{10}} + \frac{1}{a \log \frac{(C/X_{pol})}{10}} + \frac{1}{a \log \frac{(C/satayd)}{10}}} \right] \quad \text{Ecuación 2-31}$$

Donde:

$C/N_{Descendente}$ = Relación portadora a ruido descendente

C/I = Relación C/I descendente

C/X = Relación portadora - polarización cruzada descendente

C/X = Relación portadora - Satélite Adyacente descendente =

2.7 Evaluación del enlace

En este punto se calcula la relación C/N total es decir, la resultante de la combinación entre el enlace ascendente total y el enlace descendente total, además calcularemos la relación C/N requerida (C/N_{req}) que depende de las características del modem d, de la señal de comunicaciones. al comparar a la C/N total con la C/N requerida, obtenemos el valor del margen de enlace que nos indicara finalmente si nuestro enlace cumple o no con la calidad deseada en el diseño de enlace.

- relación C/N total del sistema ascendente y descendente
- relación C/N requerida
- margen de enlace
- potencia consumida en el HoA

2.7.1 Relación C/N total del sistema Ascendente y descendente

$$(C/N)_{TOTALSISTEMA} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{\frac{1}{10 \cdot \log \frac{C/N-asc}{10}} + \frac{1}{10 \cdot \log \frac{C/N-Des}{10}}} \right] \quad \text{Ecuación 2-32}$$

2.7.2 Relación C/N requerida

La relación de la portadora entre el ruido C/N que se requiere para el enlace está determinada por la ecuación 2.33

Donde:

$$(C/N)_{requerido} = E_b/N_0 + 10 \log(\text{vel inf}) - 10 \log(AB) \quad \text{Ecuación 2-33}$$

2.7.3 Margen de enlace

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

$$Me = (C/N)_{total} - (C/N)_{req.} \quad \text{Ecuación 2-34}$$

Es la relación que nos definirá si el enlace es operable entre la relación portadora a nivel de ruido requerida con la total del sistema ascendente – descendente.

Esta comparación debe ser mayor a 0 y no mayor a 1 lo que nos definirá que estamos consumiendo la cantidad requerida de potencia y no estamos sobrados de potencia lo cual está definido si el margen es mucho mayor a 1 y si el signo del margen del enlace es negativo quiere decir que hace falta potencia.

2.7.4 Potencia consumida por la portadora del satélite

Esta potencia se puede calcular con la ecuación 2.35

$$Pot_{HPA} = Pire_{E/T} - GTX + L_{HPA \text{ y } ANT} \quad [dB/w] \text{ Ecuación 2-35}$$

Donde

$Phpa$ = potencia consumida por el amplificador de alta potencia [dB/W]

$Pire_{E/T}$ = pire de la estación terrena [dB/W]

Gtx = Ganancia de transmision [dBi]

$Lp_{HPA \text{ y } ANT}$ = perdidas en el amplificador de potencia y antena [dB]

Tema 3 Cálculo de enlace para una unida fija

3.1 Introducción.

La aplicación que se realiza en este tema toma la secuencia de las formulas utilizadas en el tema dos, cabe señalar que hay algunas variaciones con respecto a la secuencia o el orden de las mismas debido a que en algunos valores el fabricante y la compañía de servicio satelital proporcionan estos datos. Por ejemplo la G/T de la antena del satélite, la eficiencia de antena de las estaciones terrenas, la temperatura de ruido de antena y del amplificador de bajo ruido. Se hará como ejemplo un cálculo práctico de enlace entre Guadalajara y Monterrey.

3.2 Cálculos preliminares

3.2.1 Parámetros de las antenas

I Ganancia de antena

En el enlace ascendente se tiene que calcular la ganancia de la antena de la estación terrena transmisora y receptora en el modo de transmisión y recepción debido a que se utilizaran estos valores para el enlace de ida y regreso. La ganancia de la antena se analizo en el tema 2 a través de la ecuación 2.3 y esta es la siguiente:

$$G = 10 \log \eta (\pi^2 D^2 F / C)^2 \quad [\text{dBi}] \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Donde:

η : eficiencia de la antena

π : constante Pi

D: diámetro de la antena [metros]

F: frecuencia de operación [Ghz]

C: velocidad de la luz (3E8)[m/s²]

Los valores son para la antena transmisora que se usa son:

$$C = 3 \times 10^8 \quad [\text{m/s}^2]$$

$$F = 14.226 \times 10^9 \quad [\text{Ghz}]$$

$$\eta = 0.65 \text{ adimensional}$$

$$\text{Diámetro} = 2.4 \quad [\text{m}]$$

Sustituyendo los valores en dicha ecuación se tiene:

$$G = 10 \log [(.05) * (3.1416 * 2.4 / (14.226E9 / 3E8))^2]$$

Resolviendo la ecuación se llega al siguiente resultado:

$$G = \underline{47.92\text{dBi}}$$

Los valores para la ganancia de la antena receptora son los siguientes:

00

$$F = 11.926E9 \text{ [Hz]}$$

$$C = 3 \times 10^8 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

$$\eta = 0.65 \text{ [adimensional]}$$

$$\text{Diámetro} = 3.5 \text{ [m]}$$

Sustituyendo los valores en dicha ecuación se tiene:

$$G = 10 \log [0.65 (\pi \times 3.5 \times (11.926E9 / 3 \times 10^8))^2]$$

Llegando al siguiente resultado:

$$G = \underline{50.90\text{dBi}}$$

II Interferencias

Debido al nivel en los lóbulos laterales de radiación generados en la antena al transmitir existe interferencia a otras estaciones o a otras antenas dentro de la misma estación. La UIT hace la recomendación # 460 A través de la cual debe permitir un nivel máximo de estos lóbulos y está dado por la siguiente expresión

$$G(\theta) = 29 - 25 \log \theta \text{ [dBi]} \quad \text{para } D/\lambda > 150^\circ \text{ Ecuación 2.8}$$

Sustituyendo el valor del ángulo de ancho de haz que está dado por la siguiente expresión

$$\theta_{3\text{dB}} = 70 \cdot \lambda / D \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Donde:

λ = es la longitud de onda de la señal

D = es el diámetro de la antena

Sustituyendo valores

$$\theta_{3dB} = [70(3 \times 10^8 / 11.926 \times 10^9 / 3.5)]$$

Resolviendo la ecuación se llega al siguiente resultado

$$\theta_{3dB} = 0.42$$

Con el resultado anterior podemos obtener el nivel de lóbulos de radiación que generan interferencia contenida en la ecuación 2.9

$$G(\theta) = 29 - 25 \log 0.625 \text{ [dBi]} \quad \text{para } D/\lambda > 150^\circ$$

Se obtiene el siguiente resultado

$$G(\theta) = 38.37 \text{ dB}$$

III Temperatura de ruido

Este dato es proporcionado por fabricante de antenas en función de ángulo de elevación, diámetro y la frecuencia de operación este valor es mostrado en las graficas del apéndice B del cual se obtiene el valor de 10° K

3.2.2 Polarización

La polarización del enlace puede ser:

1. Lineal:
 - Horizontal
 - Vertical
2. Circular
 - izquierdas (LHCP)
 - A derechas (RHCP)

La polarización la marca el satélite. Ambas antenas deben estar acopladas en polarización. Teóricamente puede doblarse la capacidad de un enlace por la polarización.

Existe un diagrama de radiación de la componente contrapolar del campo (polarización cruzada), que limita la discriminación y el aislamiento de polarización. La polarización utilizada en el enlace es ortogonal horizontal vertical

3.2.3 Factor de calidad de recepción

$$G/T_{E/T} = G_{RX} - 10 \log(T + \Delta T) \text{ Ecuación 2.10}$$

$$\Delta T = (1 - \log(-3.9/10))(275)^\circ K$$

$$\Delta T = 26.13 \text{ dB } ^\circ K$$

$$G/T = 9.10 \text{ dB/k}$$

3.2.4 Modelo de propagación

I Parámetros de atenuación por efectos atmosféricos

Margen de atenuación debida a la precipitación y la nebulosidad en los enlaces por satélite.

En el caso de nuestro país existen distintos tipos de regiones, que son divididas en las siguientes zonas:

- Nor Occidente
- Norte centro
- Golfo norte
- Centro
- Pacífico centro
- Istmo
- Yucatán

El margen de atenuación lo sacamos de tablas dependiendo del nivel de calidad y las consideraciones que se hagan dependiendo la disponibilidad requerida en función del tipo de zona climática en que se este situadas las estaciones transmisora y receptora en este caso consideramos un día despejado

II Atenuación debida a los gases atmosféricos y las nubes

La rotación del plano de polarización provocado por la ionosfera Generalmente es de .5 dB en frecuencias mayores a 40 Ghz y es despreciable en la banda de operación empleada en este enlace

III Perdidas por dispersión

Las perdidas por dispersión son debidas a la naturaleza de la onda y de la atenuación que tiene la onda en función de la distancia que

hay entre la estación transmisora y la receptora. Esta fórmula viene dada en el tema 1 y es uno de los parámetros utilizados en la relación portadora ruido del enlace ascendente y descendente. Y viene dada por la siguiente expresión

$$L_p = 10 \log (4 \pi R^2 D / c^2) \text{ [dB]} \text{ ecuación 1.5}$$

Donde:

$$\pi = 3.1416 \text{ [rad]}$$

R = distancia del satélite al centro de la tierra = 36000 Km.

$$c = 3 \times 10^8 \text{ [m/s]}$$

D = Diámetro de antena = 3.5 [m]

Sustituyendo los valores en la ecuación 1.5

3.2.6 Temperatura de ruido total del sistema (ascendente y descendente) mostrada en la siguiente expresión:

$$T_s = T_{LNA} + T_{ANT} \text{ [°K]} \text{ Ecuación 2-11}$$

Para el enlace ascendente

Donde:

Temperatura de antena 10°K

Temperatura de Lna 90°k

Sustituyendo valores en la ecuación 2-4 tenemos:

$$T_s = 90 + 10.92 = 100.92$$

Expresada en decibeles para normalizar operaciones

$$T_s = 10 \log (100.92)$$

$$T_s = 20.04 \text{ dB/K}$$

Para el enlace descendente tenemos los siguientes datos:

Temperatura de antena 10° K

Temperatura de LNA 90° k

Sustituyendo en la ecuación 2-11

$$T_s = 110 + 27.08 = 137.08 \text{ [}^\circ\text{k]}$$

Expresado en unidades logarítmicas tenemos :

$$T_s = 10 \log 137.08$$

$$T_s = 21.37 \text{ dB/K}$$

3.2.7 Características del sistema TDMA y FDMA, SCPC

El tipo de acceso utilizado en el enlace es SCPC donde se producen interferencias debido a los productos de intermodulación que generan los amplificadores al manejar más de una portadora afectando la calidad de la señal, también generan interferencia por canal adyacente e interferencia entre símbolos. Estos datos se encuentran en las tablas del satélite.

3.2.8 Temperatura de ruido del satélite

Ruido de antena (enlace ascendente) Para el enlace ascendente, todo el haz principal de la antena receptora de a bordo está incluido en el ángulo de visión de la Tierra (17.5°), que es una fuente de ruido de valor 290 K. Para haces más anchos el ruido puede ser menor dependiendo de la frecuencia, del área de cobertura y de la posición orbital, ya que

Los continentes generan más ruido que los océanos. $T = 290 \text{ K}$ es un valor adecuado a falta de datos más precisos.

3.3 Datos del enlace

3.3.1 Datos del satélite

Los datos que se requieren del satélite Solidaridad 2 para hacer los cálculos del enlace, son los que aparecen en la tabla 3.1

Parámetros	Valores
Satélite	Solidaridad
Longitud	109.2° oeste
Banda de operación	K u
Frecuencia ascendente	14.226 [Ghz]
Frecuencia descendente	11.926 [Ghz]
Tipo de transpondedor	12k 54[Mhz]
Región	4
BOI (perdida de potencia para evitar la saturación del amplificador en la entrada.)	8.5 dB
BOO(perdida de potencia para evitar la saturación del amplificador en la salida.)	4.0 dB
ATP(atenuador de posición)	20 dB
Polarización horizontal –vertical	12 K
Transpondedor	

Tabla 3.1 Datos del satélite

3.3.2 Datos de la señal a Transmitir

- Velocidad de transmisión 64 [Kbps]
- Modulación :QPSK
- Factor de ensanchamiento del espectro :.14[adimensional]
- Factor de corrección de error: $\frac{1}{2}$ [bit]
- Tasa de Bits erróneos Ber : 10^{-7} [bit]

3.3.3 Datos de la estación transmisora y receptora

Los datos para las estaciones terrenas aparecen en la tabla 3.2

Parámetros	Valores	Valores	Valores
Localidad	Monterrey	Guadalajara, Jal	unidades
Latitud	25.40	20.40 °	[°N]
Longitud	100.19	103.20	[°O]
Diámetro de antena	2.4	3.50	M
Ganancia de antena T x	49.20	52.30	dBi
ganancia de antena R x	47.60	50.90	dBi
Temperatura total del sistema	20.04	21.37	dBi°K
Eb/No	5.7	5.7	dB
Perdida de salida del HPA _{E/T}	3	2.5	dB
Perdidas del alimentador y guía de ondas	1	1	dB
	0.2	0.2	dB

Tabla 3.2 Datos de la estación transmisora y receptora

3.3.4 Datos de transmisión

Los parámetros que se van a manejar entre el satélite y las estaciones terrenas, son mostrados a través de la tabla 3.3

Parámetros	Valores	Valores	Valores
	Monterrey N.L	Guadalajara, Jal.	
Dfs	-100.60	-101.20	dBW/m ²
Pire	49.10	49.90	dBW
G/T	9.10	9.7	dB/°K
Margen de atenuación por lluvia	1.30	6.50	dB
dfs(densidad de flujo de saturación)	México	Tijuana	
pire	-96.18	-92.40	dBW/m ²
G/T	42.93	41.27	dBW
	10.18	6.40	dB/°K

Tabla 3.3 Datos del satélite para las localidades de interés

3.4 Cálculos preliminares

3.4.1 Ancho de banda

El ancho de banda esta dado por la siguiente expresión :

$$AB: V \text{ inf.}, (Fec)^{-1} * (FM) * (1 + \text{Rool off}) \text{ Ecuación 2-13}$$

Donde:

V inf. = velocidad de información = 64 [kbps]

F .M = Factor de modulación = 0.5 [adimensional]

Factor de ensanchamiento del espectro (Roll off) = .14 [adimensional]

Sustituyendo los valores en la ecuación 2-5 tenemos :

$$AB = 64(05)^{-1}(05)1.14$$

$$AB = 72.96 \text{ [KHz]}$$

Apuntamiento de antena y distancia de la estación terrena al Satélite.

Para la estación terrena de Monterrey tenemos los siguientes parámetros:

3.4.2 Ángulo de azimut

El ángulo de azimut viene dado por la siguiente ecuación:

$$A = \tan^{-1} (\tan [\text{Long}_{\text{sat}} - \text{Long}_{\text{E/T}}] / \text{Sen Lat}_{\text{E/T}}) \text{ Ecuación 2-14}$$

Donde:

Long_{sat} = longitud del satellite 113.0 [° grados]

$\text{Long}_{\text{E/T}}$ = longitud de la estación terrena = 99.01[° grados]

$\text{Lat}_{\text{E/T}}$ = latitud de la estación terrena = 19.35 [° grados]

Sustituyendo valores en ecuación 2-6 obtenemos el siguiente resultado:

$$A' = \tan^{-1} \{ \tan [113 - 99.01 / \text{sen } 19.35] \}$$

$$A' = 36.94$$

Debido a que nuestro país se encuentra en el hemisferio norte debemos hacer una corrección que es sumarle 180°, quedando de la siguiente manera:

$$A = 180 + 36.94$$

$$A = 216.94$$

3.4.3 Ángulo de Elevación

Para el ángulo de elevación tenemos la siguiente expresión :

$$E = \tan^{-1} [(R^2 - r^2 (\cos(\theta_{\text{Lat}} \times \cos(\theta_{\text{ILAT}} - \theta_{\text{ILong}}))) / (R (\sin(\cos^{-1}(\cos(\theta_{\text{Lat}} \times \cos(\theta_{\text{ILAT}} - \theta_{\text{ILong}})))))) - \cos^{-1}(\cos(\theta_{\text{Lat}} \times \cos(\theta_{\text{ILAT}} - \theta_{\text{ILong}})))) \text{ Ecuación 2-15}$$

Donde:

R = Distancia del centro de la tierra a la órbita geoestacionaria donde se encuentra el satélite $R = 42164.2$ [m]

$r =$ Distancia de la estación terrena al satélite = 6378.155 [m]
 $\theta_{LAT} =$ latitud de la estación terrena = 25.40 [grados]
 $\theta_{Long} =$ Longitud de la estación terrena = 19.2 [grados]
 $\theta_{Lat\ sat} =$ Latitud del satélite = 100.19 [grados]

Sustituyendo datos en la ecuación 2-18 y haciendo

$w = \cos(\theta_{Lat} \times \cos(\theta_{LAT} - \theta_{Long}))$ tenemos:
 $w = \cos 25.40 \times \cos [19.2 - 100.19]$

$E = \tan^{-1}[(42164.2 - 6378.155(w)) / (6378.155(\sin(\cos^{-1}w)))] - \cos^{-1}w$

$E = 62.24$ [grados]

3.4.4 Distancia entre E/T Monterrey y solidaridad 1

Dada por la ecuación 2-19 tenemos:

$D = \{ra^2 + d^2 - (2(d(ra)))\sin(O + \sin^{-1}((d/ra) \cos O))\}$. Ecuación 2-16

Donde:

$ra =$ radio de la tierra = 42164.2 [Km]
 $d =$ distancia del centro de la tierra a la órbita geostacionaria
 = 63778.155 [km]
 $o =$ posición del satélite = 58.63 [grados]

Sustituyendo valores en la ecuación tenemos :

$D = \{42164.2^2 + 6378.155^2 - (2(6378.155(42164.2)))\sin(58.63 + \sin^{-1}((6378.155/42164.2) \cos 58.63))\}$. Ecuación 2-16
 $D = 36587.45$ Km.

Angulo de azimut para la estación de Guadalajara

El ángulo de azimut viene dado por la siguiente ecuación :

$A = \tan^{-1}(\tan [Long_{sat} - Long_{E/T}] / \sin Lat_{E/T})$ Ecuación 2-15
 Donde :

$Long_{sat} =$ longitud del satélite 113.0 [° grados]

Long_{E/T} = longitud de la estación terrena = 99.01[° grados]

Lat_{E/T} = latitud de la estación terrena = 19.35 [° grados]

Sustituyendo valores en ecuación 2-6 obtenemos el siguiente resultado:

$$A' = \tan^{-1} (\tan[109.2-103.20 / \sin 20.40])$$

$$A' = 16.78^\circ$$

$$A = 180 + 16.78$$

$$A = 196.78^\circ$$

Ángulo de elevación para la estación de Guadalajara.

Para el ángulo de elevación tenemos la siguiente expresión :

$$E = \tan^{-1} [(R^2 - r^2 (\cos(\theta_{Lat} \times \cos(\theta_{ILAT} - \theta_{ILong}))) / (R (\sin(\cos^{-1}(\cos(\theta_{Lat} \times \cos(\theta_{ILAT} - \theta_{ILong})))))) - \cos^{-1}(\cos(\theta_{Lat} \times \cos(\theta_{ILAT} - \theta_{ILong})))] \text{ Ecuación 2.15}$$

Donde:

R = Distancia del centro de la tierra a la órbita geoestacionaria donde se encuentra el satélite solidaridad 2 = 42164.2 [m]

r = Distancia de la estación terrena al satélite = 6378.155 [m]

θ_{LAT} = latitud de la estación terrena = 25.40 [grados]

θ_{Long} = Longitud de la estación terrena = 19.2 [grados]

$\theta_{Lat\ sat}$ = Latitud del satélite = 100.19 [grados]

Sustituyendo datos en la ecuación 2-18 y haciendo

$w = \cos(\theta_{Lat} \times \cos(\theta_{ILAT} - \theta_{ILong}))$ tenemos:

$$E = \tan^{-1} [(42164.2 - 6378.155(w)) / (6378.155(\sin(\cos^{-1}(w))) - \cos^{-1}(w))]$$

$$w = \cos 20.40 \cos [109.2 - 103.20]$$

$$E = 65.12^\circ$$

Distancia entre la estación terrena Guadalajara y solidaridad 1
Dada por la ecuación 2-16 tenemos:

$$D = \{ra^2 + d^2 - (2(d(ra)))\sin(O + \sin^{-1}((d/ra) \cos O))\}. \text{ Ecuación 2-16}$$

Donde:

Ra = radio de la tierra = 42164.2 [km]

d = distancia del centro de la tierra a la orbita
Geoestacionaria = 63778.155 [km]

O = posición del satélite 58.63 [grados]

Sustituyendo valores en la ecuación tenemos :

$$D = (42164.2^2 + 6378.155^2 - (2(6378.155(42164.2)))\sin(65.12 + \sin^{-1}((6378.155/42164.2)\cos 65.12))).$$

$$D = 36292.37. [\text{km}]$$

3.5 Parámetros del Enlace ascendente

3.5.1 Relación portadora a densidad de ruido Ascendente

Esta relación nos permite conocer cuanto esta por encima el nivel de la señal con respecto a la densidad de ruido a la entrada del satélite y viene dada por la siguiente ecuación mostrada a continuación:

$$C/N_{o_{asc}} = P_{ire_{E/T}} + G/T_{SAT} - K - L_s - \mu - L_{\Delta} \quad [\text{dB /hz}] \text{ Ecuación 2-17}$$

Donde:

$$P_{ire_{E/T}} = 42.11 \text{ [dBW]}$$

$$G/T_{SAT} = 9.10 \text{ [dB/K]}$$

$$K = -(228.6) \text{ [dBW/K/W]}$$

$$L_{\Delta} = 1 \text{ [dB]}$$

Perdidas en el espacio libre ascendentes

Este tipo de pérdida es por la naturaleza misma de la onda la frecuencia de operación y el medio donde se propaga, que se muestra a continuación en la siguiente fórmula

$$L_s = 20 \log \left(\frac{4\pi * d}{\lambda} \right)^2 \dots\dots\dots \text{Ecuación 1-4}$$

Sustituyendo valores en la ecuación 1-4

$$L_s \text{ asc} = 20 \log((4\pi(14.226 \text{E}^9)(36587.27 \text{E}^3))/3\text{E}^8)$$

$$\underline{L_s = 206.77 \text{ dB}}$$

Sustituyendo valores en la siguiente ecuación

$$C/No_{\text{asc}} = 42.11 + 9.10 - (228.6) - 206.77 - 1 - 1 (\text{dBHz})$$

$$\underline{C/No = 71.04 \text{ dB-Hz}}$$

3.5.2 Relación C/N ascendente

$$C/N = C/No_{\text{Ascendente}} - 10 \log(AB) \text{ Ecuación 2.18}$$

Sustituyendo:

Donde

$$C/No = 71.04 \text{ [dB-Hz]}$$

$$AB = 72.96 \text{ E}^3 \text{ [Khz]}$$

Sustituyendo en la ecuación 2-18 tenemos:

$$C/N \text{ asc} = 71.04 - 10 \log(72.96 \text{ E}^3) \text{ Ecuación 2-18}$$

$$\underline{C/N \text{ asc} = 22.41 \text{ dB}}$$

3.5.3 C/I intermodulación Ascendente

$$C/I \text{ ascendente} = \text{HPAint-IPBO-10LOG AB} \quad \text{Ecuación 2-19}$$

Tenemos como datos previos:

Back off de Intermodulación por portadora de entrada

$$\text{IPBO} = \text{Dfs} - \text{PIRE}_{E/T} + L_p + \text{ATP} \text{ Ecuación 2.20}$$

Donde:

$$\text{Dfs} = -100.60 \text{ [dB]}$$

$$\text{Pire}_{E/T} = 42.11 \text{ [dB-W]}$$

ATP = 20 dB

$L_p = \text{perdidas por dispersión} = 4\pi \cdot d^2 \dots \text{Ecuación 1-5}$

Donde =

$$d = 36587.27 E^3$$

$$L_p = 10 \log((4\pi)(36587.27 E^3)^2) \quad \text{Ecuación 1-5}$$

$$L_p = 162.26 \text{ dB.}$$

$$IPBO = -100.60 - 42.11 + 162.26 + 20$$

$$IPBO = 39.55$$

Sustituyendo en la ecuación 2-19 tenemos:

$$C/I = -HPA_{int} - IPBO - 10 \log(AB) \quad \text{Ecuación 2-19}$$

$$C/I = 17.82$$

3.5.4 C/Xpol polarización cruzada ascendente = $- \text{Int}_{Des} C_{pol} - IPBO - 10 \log(AB)$ Ecuación 2.21

Donde:

$$\text{Int}_{Des} C_{pol} = -112.6 \text{ [dBw]}$$

$$IPBO = 39.55 \text{ dB}$$

$$AB = 72.96 E^3 \text{ [hz]}$$

$$P_{ire Sat} = 48.63 \text{ [dBw]}$$

Sustituyendo valores:

$$C/X \text{ polarización cruzada} = - (112.6) - 39.55 - 48.63$$

$$C/X = 24.42 \text{ dB}$$

3.5.5 C/X por polarización de satélite adyacente ascendente

$$C/X : \text{Satélite Adyac Ascendente} = P.I.R.E_{Sat} - (\text{Int Des}_{Sat Ady} - G_{Ant Rx}) - 10 \text{ LOG}(AB) \quad \text{Ecuación 2-22}$$

$$C/X \text{ satélite adyacente} = (-115.5) - 39.55 - 48.63$$

$$C/X \text{ satélite adyacente} = 23.32.$$

3.5.6 Relación C/N Ascendente total

$$(C/N)_{ASC-SIT} = 10 \log \left[\frac{1}{\frac{1}{a \log \frac{(C/N)}{10}} + \frac{1}{a \log \frac{(C/I_m)}{10}} + \frac{1}{a \log \frac{(C/X_{pol})}{10}} + \frac{1}{a \log \frac{(C/satayd)}{10}}} \right] \quad \text{Ecuación 2-23}$$

Donde:

C/N = Relación Portadora-ruido ascendente

C/I = Relación Portadora-ruido de Intermodulación ascendente

C/X Relación Portadora-ruido por polarización cruzada

C/X ady = Relación C/X ady

Sustituyendo valores

$$(C/N)_{ASC-SIT} = 10 \log \left[\frac{1}{\frac{1}{\log \frac{221}{10}} + \frac{1}{\log \frac{137}{10}} + \frac{1}{\log \frac{247}{10}} + \frac{1}{\log \frac{237}{10}}} \right] \quad \text{Ecuación 2-23}$$

$$(C/N)_{ASC-SIT} = 15.15 \text{ dB}$$

3.6 Parámetros del Enlace descendente

3.6.1 Relación portadora a densidad de ruido descendente

$$(C/No)_{des} = \text{pire}_{SAT} + G/T_{E/T} - K - L_{s_{des}} - L_{\Delta} \text{ dB -Hz} \quad \text{Ecuación 2-24}$$

Donde :

$$\text{pire}_{SAT} = Dfs_{Tx} - ATP + BOI - Lp_{ASC} + PIRE_{E/T} - BOO + PIRE_{SATU(RX)} \quad \text{Ecuación 2.25}$$

$$\text{Pire}_{\text{SAT}} = -(-100.60) - 20 + 8.5 - 162.26 + 42.11 - 4 + 49.90$$

$$\text{Pire}_{\text{SAT}} = 14.85 \text{ [dBW]}$$

Pérdidas por el espacio libre descendente

Dada por la siguiente expresión

$$LS_{\text{des}} = 20 \log \left(\frac{4\pi(F(R))}{C} \right) \text{ Ecuación 1.4}$$

Donde:

$$F = 11.926 \text{E [Ghz]}$$

$$R = 36262.37 \text{E}^3 \text{[m]}$$

$$C = 3 \text{E}^8 \text{[m}^2\text{]}$$

Sustituyendo valores tenemos:

$$LS_{\text{des}} = 20 \log \left(\frac{4\pi(11.926 \text{E}^9 (36262.37 \text{E}^3))}{3 \text{E}^8} \right)$$

$$LS_{\text{des}} = 205.17 \text{ dB.}$$

Figura de merito de la E/T ubicada en Guadalajara

$$G/T_{\text{E/T}} = G_a - 10 \log(T + \Delta T) \text{ Ecuación 2.10}$$

Donde :

$$G_a = 50.90 \text{ [dBi]}$$

$$T = 275^\circ \text{K}$$

M = margen de atenuación por lluvia [dB]

$$\Delta T = (1 - \log(-3.9/10))(275)^\circ \text{K}$$

$$\Delta T = 26.13 \text{ dB } ^\circ \text{K}$$

$$G/T_{\text{E/T}} = 26.13 \text{ [dB/oK]}$$

$$C/N_{\text{O}}_{\text{Asc}} = \text{Pire}_{\text{SAT}} + G/T_{\text{E/T}} - K - L_{\text{SDES}} - \mu_{\text{des}} - L_{\Delta \text{DES}} \text{ Ecuación 2-24}$$

Donde:

- $$\text{Pire}_{\text{SAT}} = -\text{DFS} - \text{ATP} + \text{B.O.I} - L_p + \text{Pire}_{\text{E/T}} - \text{B.O.O} + \text{Pire}_{\text{Saturacion}}$$

$$= -100.60 - 20.00 + 8.5 - 162.26 + 42.11 - 4 + 49.90$$

$$= 14.85 \text{ dBW]}$$

Sustituyendo en 2.24

$$C/N_{\text{O}}_{\text{Asc}} = 14.85 + 26.13 - (-228.6) - 205.17 - 1 - 3.9$$

$$C/N_{\text{O}}_{\text{Des}} = 59.51 \text{ dB-Hz.}$$

3.6.2 Relación portadora a ruido (C/N) descendente

$$C/N_{\text{Descendente}} = C/N_{\text{O Descendente}} - 10 \log AB \text{ Ecuación 2-26}$$

Donde:

$$C/N_{\text{O descendente}} = 59.51 \text{ dB-Hz.}$$

$$AB = 72.96 E^3[\text{Hz}]$$

$$C/N_{\text{Des}} = 59.61 - 10 \log (72.96 E^3)$$

$$\underline{C/N_{\text{Des}} = 10.88 \text{ dB.}}$$

3.6.3 C/I intermodulación descendente

$$C/I = -\text{HPA int} - \text{OPBO} - 10 \log (AB) \text{ Ecuación 2.27}$$

OPBO Por portadora = OBO-IBO + IPBO Ecuación 2.28
Sustituyendo valores tenemos

$$\text{OPBO Por portadora} = 4.0 - 8.5 + 39.55$$

$$\text{OPBO} = 35.05 \text{ dB}$$

Sustituyendo valores en la ecuación 2.27 tenemos

$$C/I = -(-94.6) - 35.05 - 48.63$$

$$\underline{C/I 10.92 \text{ dB}}$$

3.6.4 C/X por polarización de satélite adyacente descendente

$$C/X : \text{Satélite Adyac Descendente} = \text{Pire}_{\text{Sat}} - (\text{Int Des}_{\text{Sat Ady}} - G_{\text{Ant Rx}}) - 10 \text{ LOG} (AB) \text{ Ecuación 2-29}$$

Donde:

$$\text{Pire}_{\text{Sat}} = 14.85 \text{ [dBw]}$$

$$\text{Int Des}_{\text{Sat Ady}} = 10.5 \text{ [dBw/m}^2\text{]}$$

$$G_{\text{Ant Rx}} = 50.90 \text{ [dBi]}$$

$$AB = 72.96 E^3 \text{ HZ}$$

Sustituyendo valores tenemos :

$$C/X \text{ satélite adyacente} = 14.85 - (-10.5 - 50.90) - 48.63$$

$$\underline{C/X \text{ satélite adyacente} = 27.62 \text{ dB.}}$$

3.6.5 C/X polarización cruzada descendente
 C/X = -Int des Cpol – OPBO-10 LOG AB Ecuación 2.30

Sustituyendo valores:

$$C/X = -(-106.5) - 35.05 - 478.63$$

$$\underline{C/X = 22.82\text{dB}}$$

3.6.6 Relación portadora a ruido C/N del sistema Descendente

$$(C/N)_{\text{Des-SIST}} = 10 \log \left[\frac{1}{\frac{1}{a \log \frac{(C/N)}{10}} + \frac{1}{a \log \frac{(C/I_m)}{10}} + \frac{1}{a \log \frac{(C/X_{\text{pol}})}{10}} + \frac{1}{a \log \frac{(C/\text{satayd})}{10}}} \right] \quad \text{Ecuación 2.31}$$

Donde:

C/N = Relación Portadora-ruido descendente [dBHz]

C/I = Relación Portadora-ruido de Intermodulación descendente [dBHz]

C/X Relación Portadora-ruido por polarización cruzada descendente [dBHz]

C/X ady = Relación C/X ady [dBHz]

Sustituyendo valores en la fórmula 2.31 tenemos:

$$(C/N)_{\text{Des-SIST}} = 10 \log \left[\frac{1}{\frac{1}{a \log \frac{(10.88)}{10}} + \frac{1}{a \log \frac{(10.92)}{10}} + \frac{1}{a \log \frac{(22.82)}{10}} + \frac{1}{a \log \frac{(27.62)}{10}}} \right]$$

$$\underline{(C/N)_{\text{Desc-SIT}} = 7.71 \text{ dB}}$$

3.7 Evaluación del enlace

3.7.1 Relación C/N total del sistema Ascendente y descendente

$$(C/N)_{TOTAL-SIST} = 10 \log \left[\frac{1}{\frac{1}{a \log \frac{(C/N)_{asc}}{10}} + \frac{1}{a \log \frac{(C/N)_{desc}}{10}}} \right] \text{ Ecuación 2-32}$$

Sustituyendo valores en la ecuación 2.32 tenemos

$$(C/N)_{TOTAL-SIST} = 10 \log \left[\frac{1}{\frac{1}{a \log \frac{(15.15)}{10}} + \frac{1}{a \log \frac{(7.71)}{10}}} \right]$$

$$\underline{C/N_{TOTAL-SIST} = 6.99 \text{ dB}}$$

3.7.2 Relación C/N requerida

$$C/N_{REQ} = E_b/N_o + 10 \log V_{inf} - 10 \log AB \text{ Ecuación 2.33}$$

Donde:

$$E_b/N_o = 5.7 \text{ [dBHz]}$$

$$V_{inf} = 64 \text{ [kbps]}$$

$$AB = AB = 72.96 \text{ [KHz]}$$

$$\underline{C/N_{REQ} = 5.13 \text{ dB}}$$

3.7.3 Margen de enlace

$$ME = C/N_{TOTAL-SIST} - C/N_{REQ} \text{ Ecuación 2.34}$$

Donde :

$$C/N_{total-sis} = 6.99 \text{ dB}$$

$$C/N_{REQ} = 5.13 \text{ dB}$$

Sustituyendo valores tenemos:

$$ME = 6.99 - 5.13 \text{ [dB]}$$

$$\underline{ME = 1.86 \text{ dB.}}$$

3.7.4 Cálculo de potencia del Hpa

$$POT_{HPA} = PIRE_{E/T} - G_{TX} + L_{\text{alimentador y guía de onda}} + B.O.O_{\text{ del HPA}}$$

Ecuación 2.35

Donde:

$$PIRE_{E/T} = 42.11 \text{ [dBW]}$$

$$G_{TX} = 49.20 \text{ [dBi]}$$

$$L_{\text{alimentador y guía de onda}} = 1 \text{ [dB]}$$

$$B.O.O_{\text{ del HPA}} = 3 \text{ [dB]}$$

$$POT_{HPA} = 42.11 - 49.20 + 1 + 3$$

$$POT_{HPA} = -3.09 \text{ dBW}$$

$$\underline{POT_{HPA} = 0.49 \text{ W}}$$

Conclusiones.

Para facilitar las conclusiones de esta tesis y hacer más clara , se redacta en forma separada por tema.

Conclusiones tema 1

El sistema de comunicación satelital es una rama de la telecomunicaciones que utiliza el espacio libre como medio de propagación par enlazar una estación transmisora con una estación receptora que se encuentra en una determinada zona de cobertura (huella satelital) el enlace puede ser punto –punto, punto a multipunto y viceversa utilizando el satélite como un espejo que refleja la señal hacia el punto que se quiera enlazar con un nivel de potencia a determinada frecuencia

La orbita geoestacionaria a 3600 kilómetros aproximadamente es donde se encuentra el tipo de satélite utilizado en el ejemplo que se maneja en esta tesis, pero hay otros tipos de orbitas que definen el tipos de satélites tal es el caso de los sistemas LEO y MEO

El satélite es un sistema repetidor el cuya función es de dar potencia y cambiar de frecuencia a la señal sin tocar la banda base para que llegue a su destino en optimas condiciones, este tiene un determinado ancho de banda que es dividido en canales de comunicación que también son llamados transponders, los cuales están asignados para determinados usos (canales de voz, datos y televisión entre otros) y que es la carga útil del satélite.

En este tema se pudo identificar los tipos de servicios satelitales (servicio fijo y móvil) así de cómo esta la estructura de un sistema de comunicación vía satélite formado por el segmento espacial y segmento terreno.

El satélite esta formado por siguientes:

- Subsistema de antenas
- Subsistema de comunicaciones
- Subsistema de potencia eléctrica
- Subsistema de control térmico
- Subsistema de posicionamiento y orientación
- Subsistema de seguimiento , telemetría y telemando

La estación terrena es considerada por un conjunto de componentes que son:

- Los amplificadores del receptor(amplificador de bajo ruido)
- Los amplificadores de potencia
- El equipo de telecomunicaciones(convertidores de frecuencia y Modems)
- El equipo de Multiplexación y demultiplexación
- Equipo de conexión con la red publica
- El equipo auxiliar(redundancia de los equipos claves)
- Equipo de alimentación de energía
- La infraestructura general

Con el concepto de Pire(potencia radiada isotropica efectiva) es el producto de la ganancia de antena y la potencia del amplificador al combinarse a la salida de la antena es una parte fundamental de la señal en el cálculo de enlace que podrá ser modificado junto con el diámetro de antena debido a que no implica mucho costo con respecto a los precios de cualquier de los otros equipos que están casados con el sistema y no se pueden estar cambiando debido a que afecta al sistema y debido a la capacidad de los amplificadores de potencia podrá ser cambiada la potencia a través de atenuadores dentro de un rango propio del amplificador, así como del rango de frecuencias.

Una Red de Comunicaciones de Servicio Fijo consiste en uno o varios satélites y las estaciones terrenas que se intercomunican a través de ellos, las estaciones siempre permanecen en el mismo punto geográfico donde se hayan instaladas inicialmente de aquí el termino fijo.

Conclusiones del tema 2

En este tema se analizan los conceptos y fórmulas para la realización del cálculo de enlace, así como de un orden de ir obteniendo datos de tablas

El cálculo de enlace se divide en dos partes enlace de ida y regreso y a su vez cada uno tiene el enlace ascendente y descendente

Enlace de Ida:

El enlace de Ida es originado desde la estación terrena transmisora hacia las terminales receptoras, y esta compuesto a su vez por dos enlaces:

- Enlace ascendente de Ida: Enlace entre la Estación terrena transmisora y el Satélite.
- Enlace descendente de Ida: Enlace entre el Satélite y la Estación terrena receptora.

Enlace de Regreso:

El enlace de Regreso es originado desde las terminales móviles hacia la estación terrena maestra. Esta compuesto a su vez por dos enlaces:

- Enlace ascendente de regreso:
- Enlace descendente de regreso:

Los parámetros que se deben poner especialmente énfasis son variados sin embargo se pueden de la siguiente manera:

- Ganancia de antena
- Pire de la estación terrena
- Zona hidrometeorológicas

Tipo de accesos al satélite

FDMA, TDMA, CDMA

FDMA.- El ancho de banda de un transponder se divide en secciones o ranuras de frecuencias asignadas a las distintas

estaciones terrenas (E.T) transmisoras. Cuando una Red de estaciones terrenas que comparten una misma ranura de frecuencias en un transpondedor mediante acceso múltiple por división en el tiempo con asignación fija y tiempos iguales por estación. Todas las estaciones transmiten su ráfaga digital a la misma frecuencia en forma secuencial.

TDMA cuando Red de estaciones terrenas comparten una misma ranura de frecuencias en un transpondedor mediante acceso múltiple por división en el tiempo con asignación fija y tiempos T desiguales por estación. Todas las estaciones transmiten su ráfaga digital a la misma frecuencia en forma secuencial.

CDMA.- todas las estaciones transmiten dentro de la misma banda de frecuencias y no tienen limitación de cuando pueden transmitir. Las estaciones transmisoras usan la misma frecuencia y transmiten al mismo tiempo, las receptoras deben conocer el código de transmisión para reconstruir el mensaje original. La separación de señales se realiza por medio de técnicas de Encriptación /Deencriptación. También se les denomina SSMA (Spread Spectrum Multiple Acces). Se utiliza para transmisiones confidenciales o altamente sensitivas a la interferencia. Las antenas de las E.T. pueden ser muy pequeñas y sus ganancias bajas sin embargo, ocupan mucho ancho de banda porque cada bit de información se transforma en un tren de bits, cuya longitud depende del código utilizado.

La recomendación 580 establece los objetivos de diseño para las nuevas antenas perfeccionadas de estación terrena (las antenas que instalaran después de 1987 deben de diseñarse de forma que el 90% de las crestas del lóbulo lateral no exceda de :

$$G(\theta) = 29 - 25 \log \theta \quad \text{dBi} \quad \text{para } D/\lambda > 150^\circ \text{ Ecuación 2.4}$$

Conclusiones del tema 3

En ejemplo mostrado en este tema se tomaron muchos factores de los cuales se resumen los de vital trascendencia

- Datos del Satélite
- Datos de la señal a transmitir
- Datos de la estación transmisora y receptora
- Datos del satélite para las localidades de interés

Dentro de los parámetros de la estación terrena y el satélite hay que poner especial interés en los siguientes

- Ganancia de la antena parabólica considerando la abertura efectiva considerando también la temperatura de ruido de antena ya que será de vital interés en la figura de merito en el modo de recepción.
- Potencia del amplificador de alta potencia en este punto se debe proponer un rango de potencia en función de los valores comerciales ya que se tendrán que hacer modificaciones si el margen de enlace nos sale menor que cero y con signo negativo -En la practica los parámetros que se podrán manipular es la potencia del amplificador de potencia y el diámetro de antena, por eso es muy importante tener en cuenta los valores que se propondrán.
- Figura de merito de las antenas del satélite y la estación terrena en el modo de recepción
- Densidad reflujos de potencia que es la cantidad de potencia que saturara al amplificador del alta potencia del satélite y que depende de la potencia de la estación terrena transmisora.

El margen de enlace es el que nos determinara si el enlace es operable en el que a través de las relaciones C/N requerido con el C/N obtenido.

El margen tiene que ser ≥ 1 para que sea el enlace operable

Si es negativo quiere decir que no es operable y es mayor el nivel de ruido que el de la señal y si es mucho mayor que 1 se esta sobrado en potencia lo cual quiere decir que podemos tener un amplificador de alta potencia de menor capacidad.

La calidad del enlace es principalmente definida por:

- La tasa de bit erróneos que nosotros escogemos
- La energía de bit E_b/N_0 parámetro del moden
- El factor de corrección de error
- Margen de atenuación por lluvia para frecuencias mayores de 10 Ghz

Dentro de este tema se lleva a cabo un ejemplo de cálculo de enlace para un servicio fijo de voz y datos utilizando el sistema solidaridad 2

Dentro de este ejemplo varios datos técnicos del satélite fueron dados por Satmex los cuales vienen en tablas proporcionadas por la empresa anteriormente dicha.

Hay muchos datos que se incluye la formula pero en ejemplo se tomaron los valores proporcionados por el fabricante (tal es el caso de las antenas, los amplificadores de bajo ruido el modem satelital, la temperatura de ruido de antena, los ángulos de desapuntamiento que hay entre las antenas transmisora y receptora, la temperatura de los amplificadores de bajo ruido.

Datos del satélite y las ciudades a enlazar.

Solidaridad	Monterrey N.L	Guadalajara, Jal.	
Dfs	-100.60		dBW/m ²
Pire	49.10	-101.20	dBW
G/T	9.10	49.90	dB/°K
Margen de atenuación por lluvia	1.30	9.7	dB
dfs(densidad de flujo de saturación)	México	6.50	
		Tijuana	
dfs(densidad de flujo de saturación)	-96.18	-92.40	dBW/m ²
pire	42.93	41.27	dBW
G/T	10.18	6.40	dB/°K

Localidad	Monterrey	Guadalajara, Jal	unidades
Diámetro de antena	2.4	3.50	M
Ganancia de antena T x	49.20	52.30	dBi
ganancia de antena R x	47.60	50.90	dBi
Temperatura total del sistema	20.04	21.37	dBi°K
Perdida de salida del HPA	0.2	0.2	dB

Datos de la señal

- Velocidad de transmisión 64[Kbps]
- Modulación :QPSK
- Factor de ensanchamiento del espectro :.14[adimensional]
- Factor de corrección de error: $\frac{1}{2}$ [bit]
- Tasa de Bits erróneos Ber : 10^{-7} [bit]
- Eb/No : 5.6

Las ganancias de antenas obtenidas en el enlace fueron las siguientes:

- 49.20 dBi en la Tx para Monterrey
- 52.30 dBi en la Tx para Guadalajara.
- 47.60 dBi en la Rx para Monterrey
- 50.90 dBi en la Tx para Guadalajara.

La G/T del satélite para Guadalajara y Monterrey no vario mucho oscilo entre 9.10 y 9.7 dB/ °K.

El valor de la densidad de flujo de potencia fue de

- -100.60 dBW/m² Para Monterrey.
- -101.20 dBW/m² Para Guadalajara.

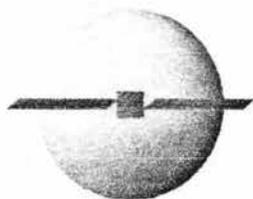
El valor del margen de enlace 1.86 nos demostró que el enlace es operable sin estar sobrado de potencia.

El valor del potencia del amplificador es de 0.47 Watts lo cual nos indica que es un amplificador mas barato.

- Velocidad de transmisión 64[Kbps]
- Modulación :QPSK
- Factor de ensanchamiento del espectro :.14[adimensional]
- Factor de corrección de error: 1/2 [bit]
- Tasa de Bits erróneos Ber : 10⁻⁷ [bit]
- Eb/No : 5.6 dB.

Nos indican que el servicio es digital de baja velocidad con un nivel de calidad aceptable dado por el ver de 10⁻⁷ y el fec de 1/2 el cual nos indica que por cada bit que mandan en la trama dos son de protección. El Eb/No de 5.6 nos indica una nivel un nivel de señal mediano que lo cual es característica del modem satelital que así lo requiere la aplicación.

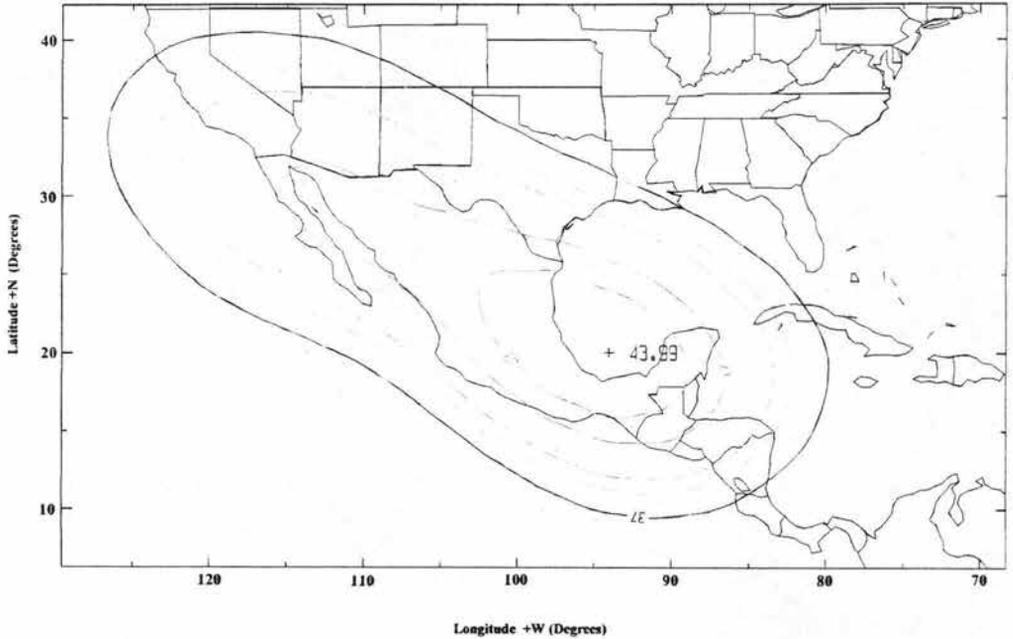
SOLIDARIDAD 2



SATMEX

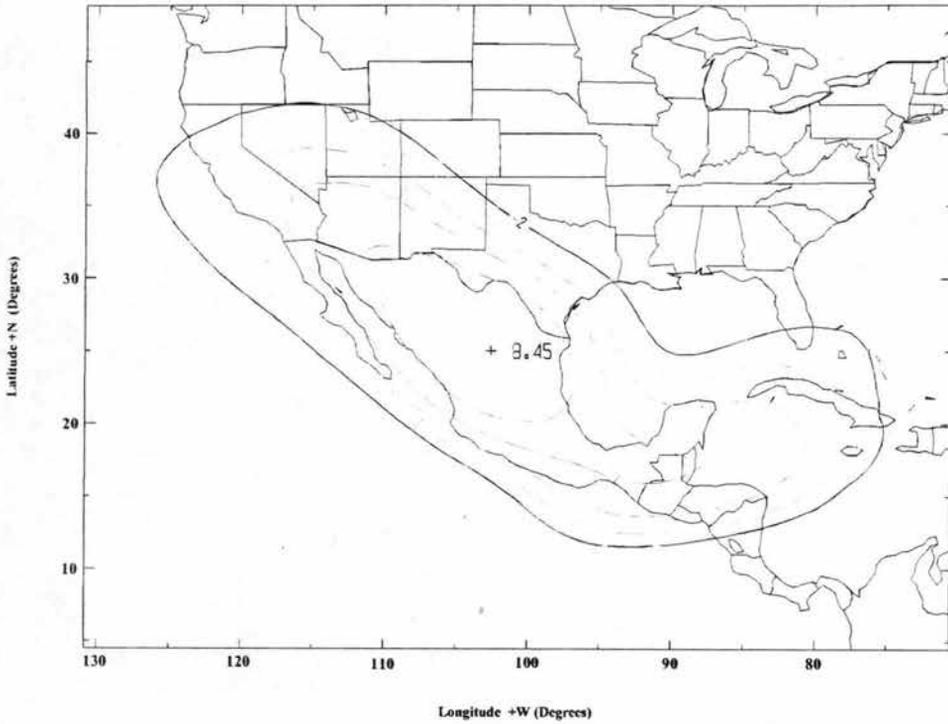


Solidaridad 2 (113.0° W)
EIRP
Region 1 C-Band Wide Xponder
(Pol. Ver/Hor)





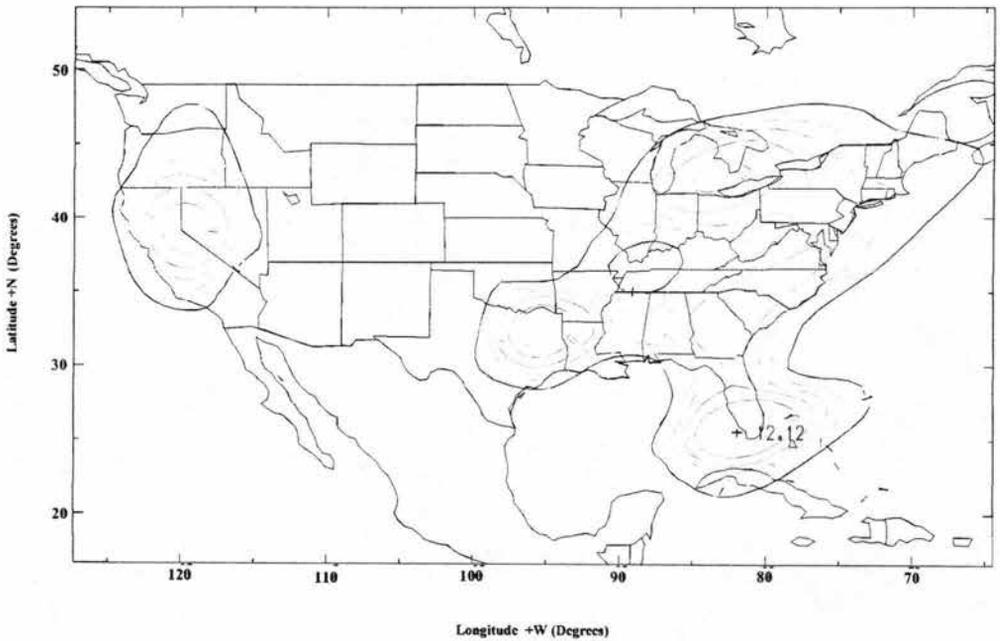
Solidaridad 2 (113.0° W)
G/T
Region 1 C-Band Wide Xponder
(Pol. Ver/Hor)



SATMEX PROPRIETARY INFORMATION



Solidaridad 2 (113.0° W)
G/T
Region 5 KU-Band
(Pol. Ver/Hor)



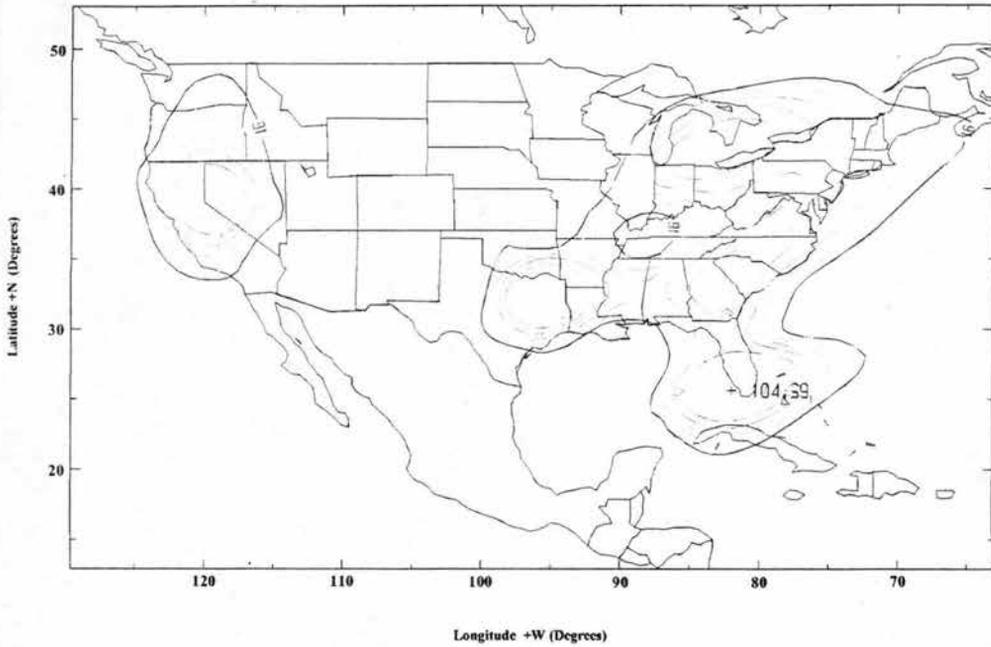
SATMEX PROPRIETARY INFORMATION

Solidaridad 2 (113.0° W)

SFD

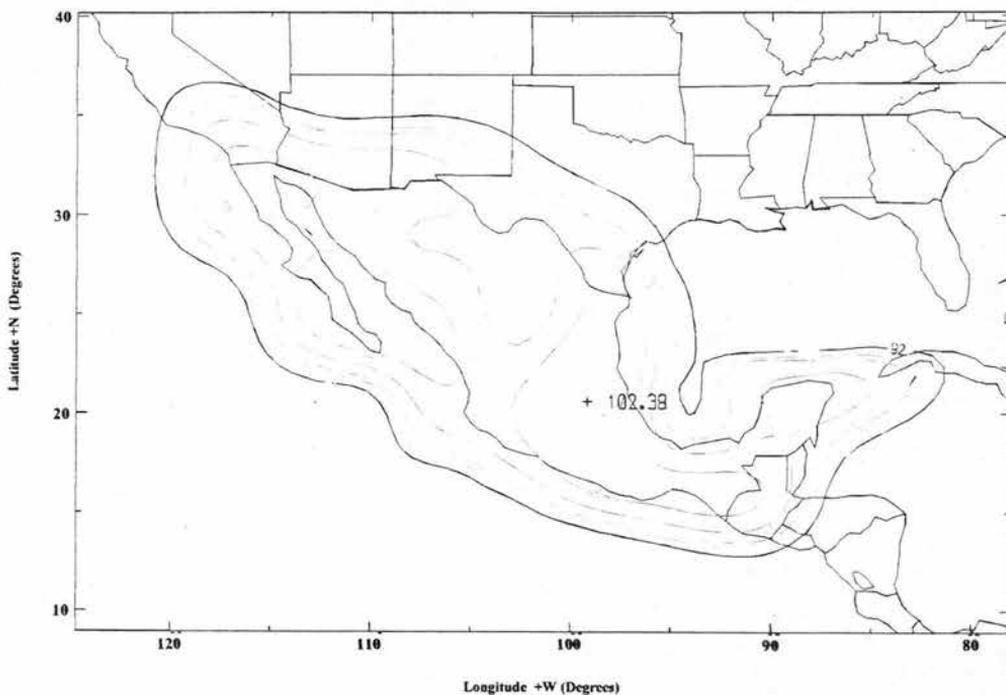
Region 5 KU-Band

(Pol. Ver/Hor)



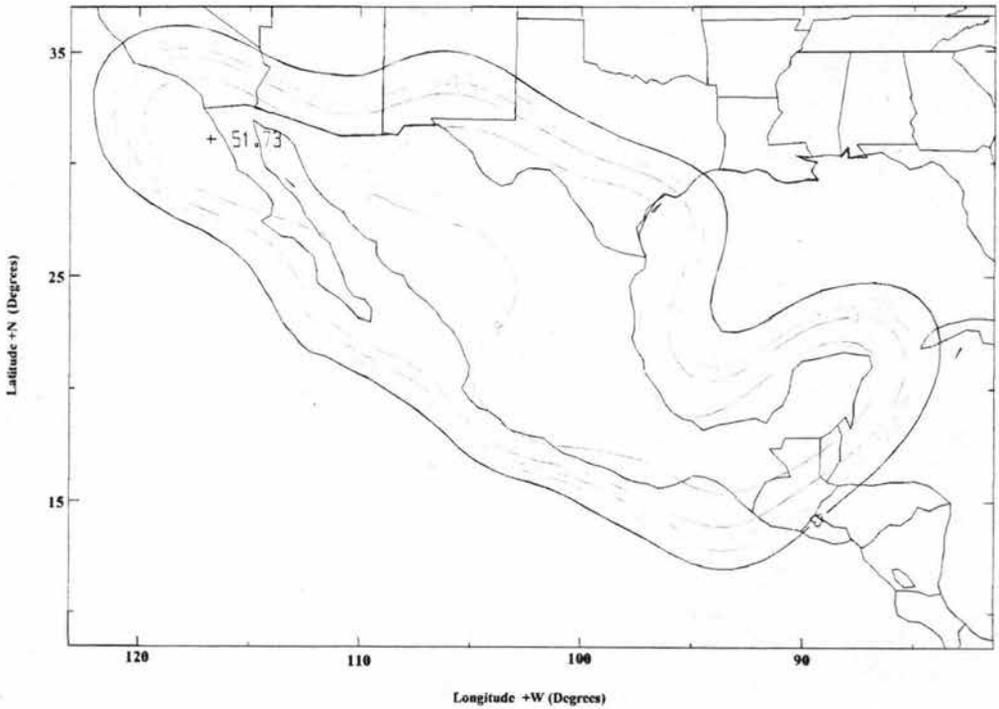


Solidaridad 2 (113.0° W)
SFD
Region 4 KU-Band
(Pol. Ver/Hor)





Solidaridad 2 (113.0° W)
EIRP
Region 4 KU-Band
(Pol. Ver/Hor)

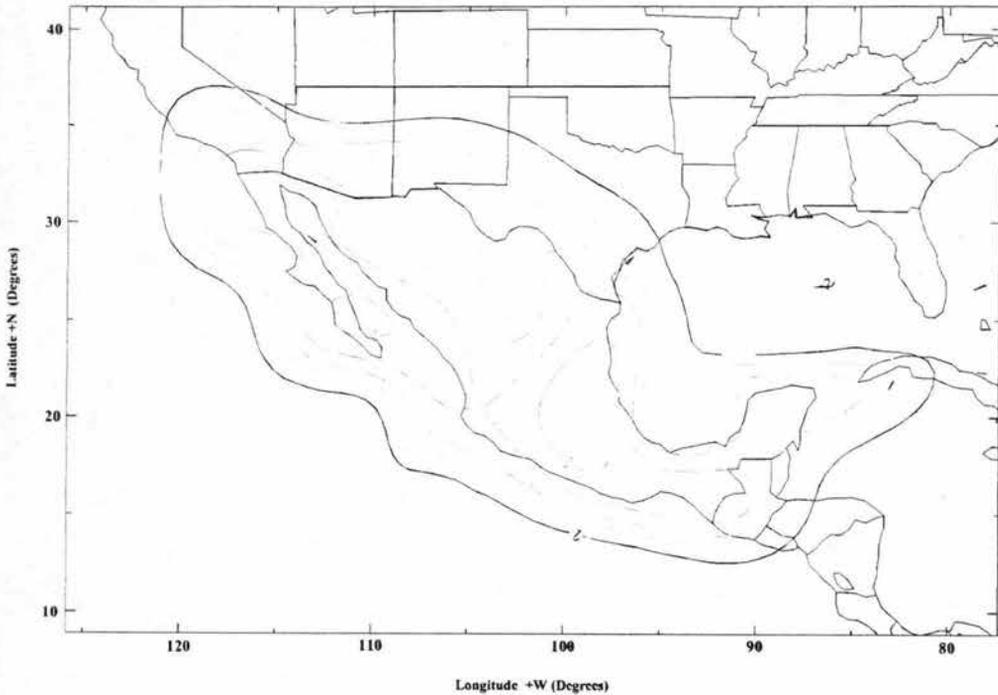


Solidaridad 2 (113.0° W)

G/T

Region 4 KU-Band

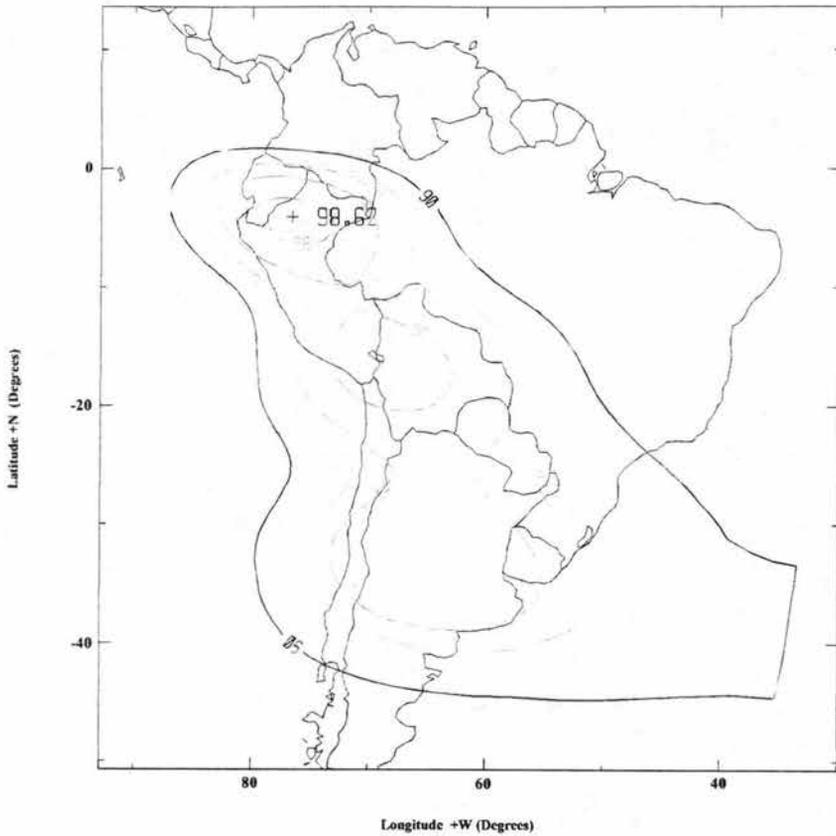
(Pol. Ver/Hor)



SATMEX PROPRIETARY INFORMATION



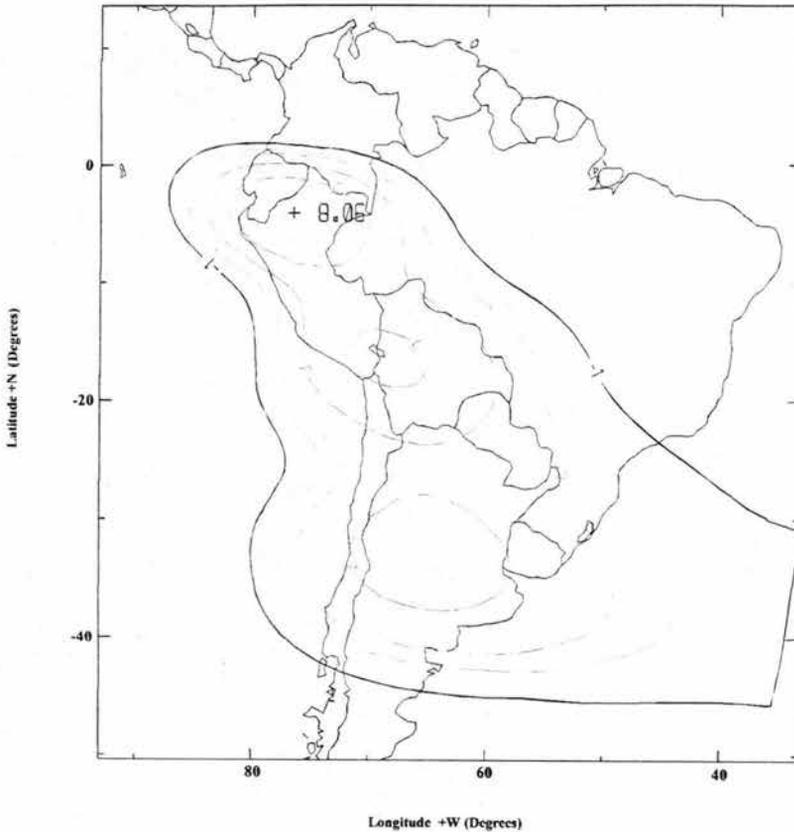
Solidaridad 2 (113.0° W)
SFD
Region 3 C-Band Narrow Xponder
(Pol. Hor/Ver)



SATMEX PROPRIETARY INFORMATION

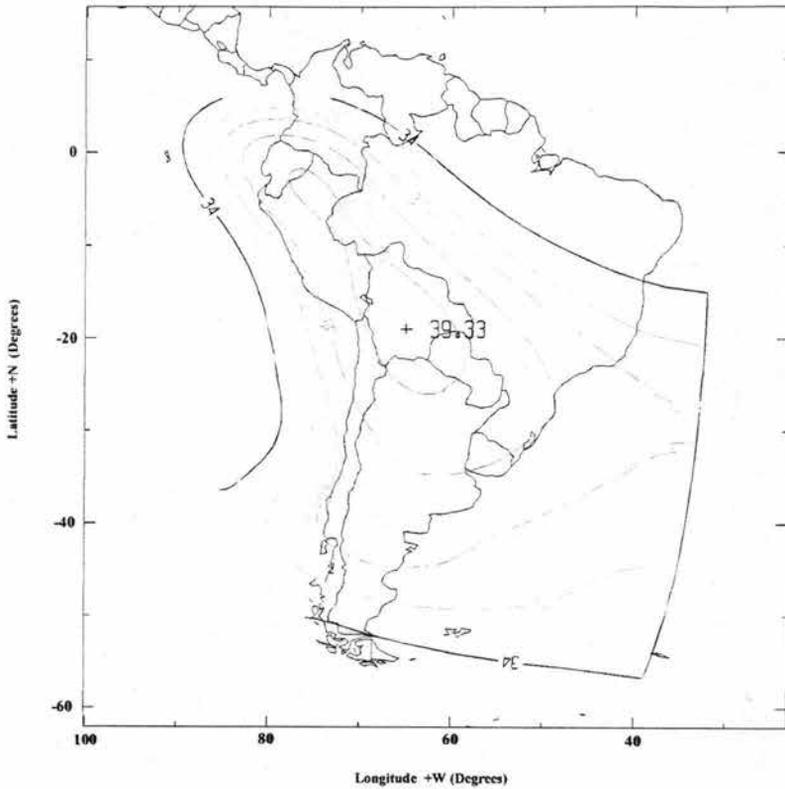


Solidaridad 2 (113.0° W)
G/T
Region 3 C-Band Narrow Xponder
(Pol. Hor/Ver)

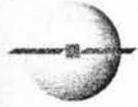




Solidaridad 2 (113.0° W)
EIRP
Region 3 C-Band Narrow Xponder
(Pol. Hor/Ver)

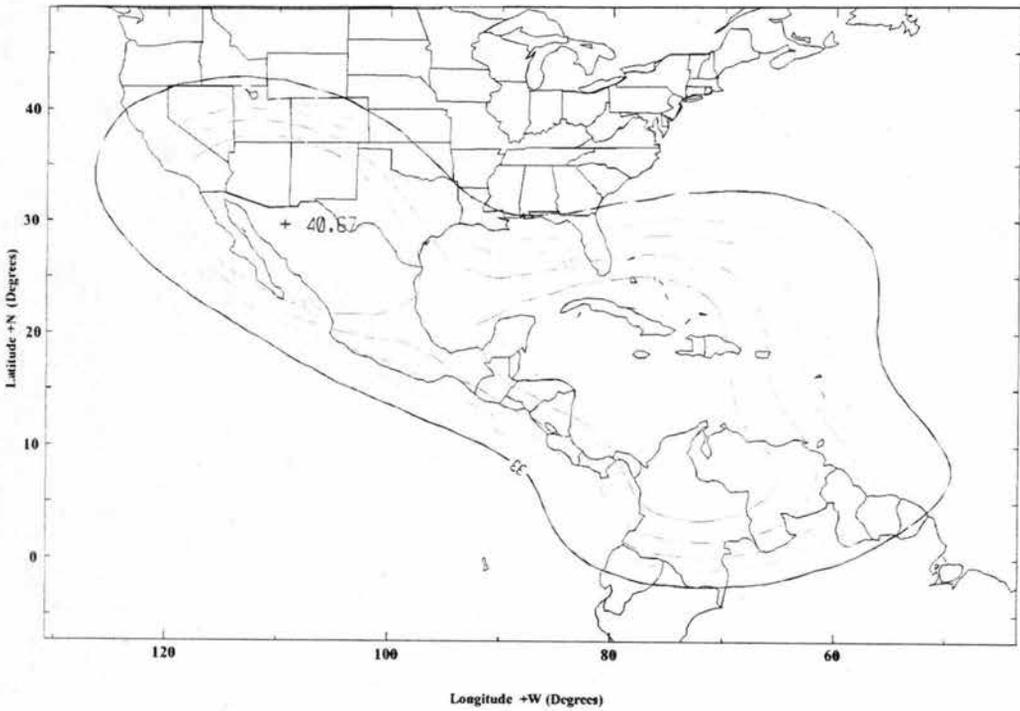


SATMEX PROPRIETARY INFORMATION



SATMEX

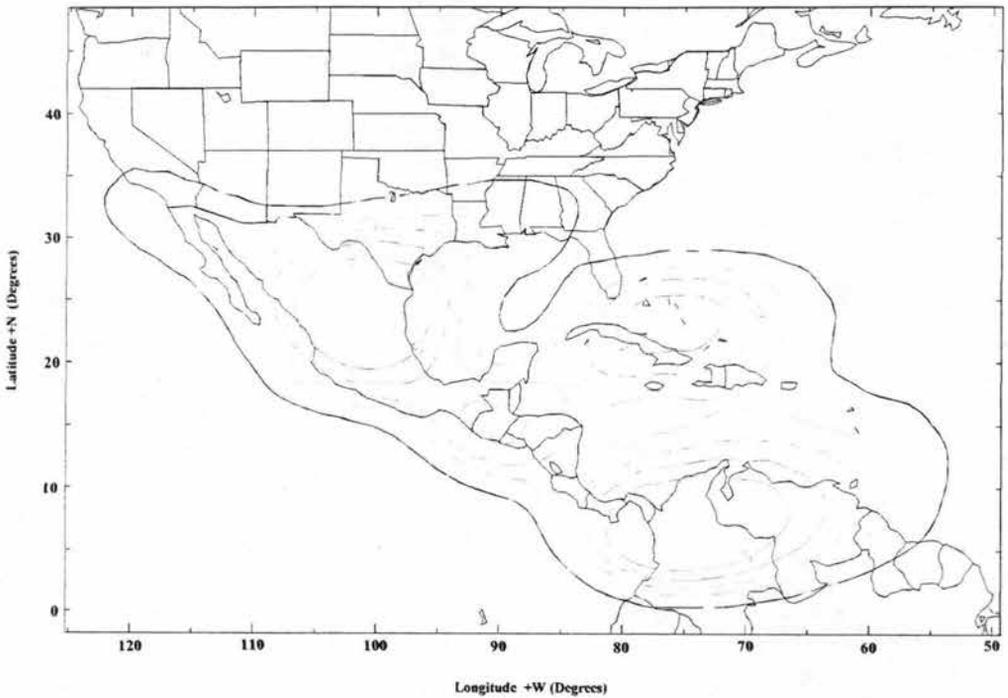
Solidaridad 2 (113.0° W)
EIRP
Region 2 C-Band Narrow Xponder
(Pol. Hor/Ver)



SATMEX PROPRIETARY INFORMATION



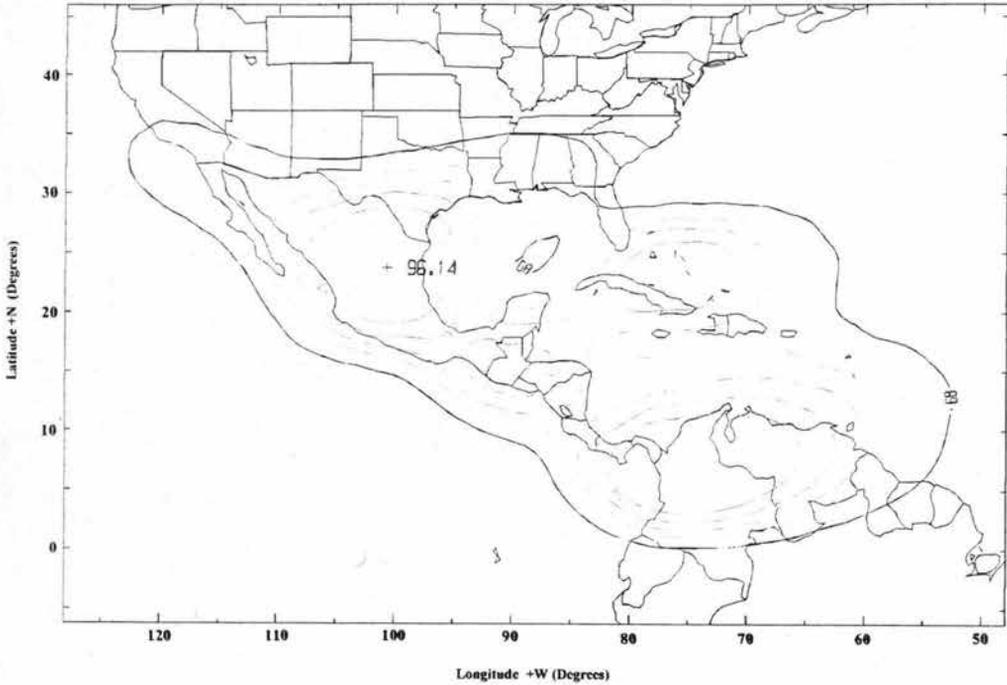
Solidaridad 2 (113.0° W)
G/T
Region 2 C-Band Narrow Xponder
(Pol. Hor/Ver)



SATMEX PROPRIETARY INFORMATION

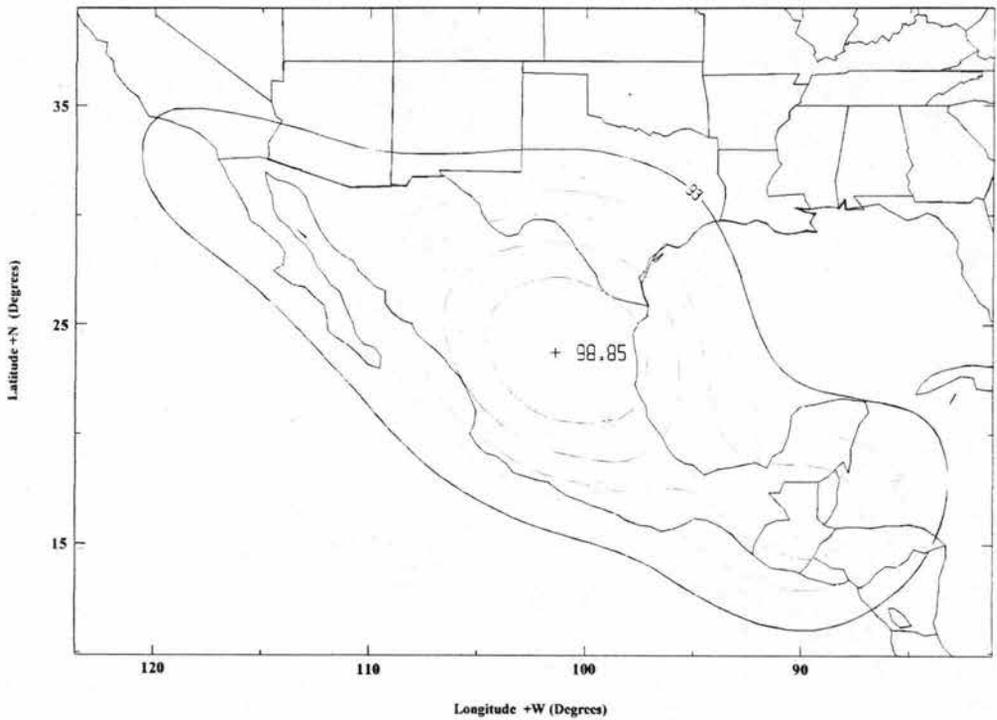


Solidaridad 2 (113.0° W)
SFD
Region 2 C-Band Narrow Xponder
(Pol. Hor/Ver)





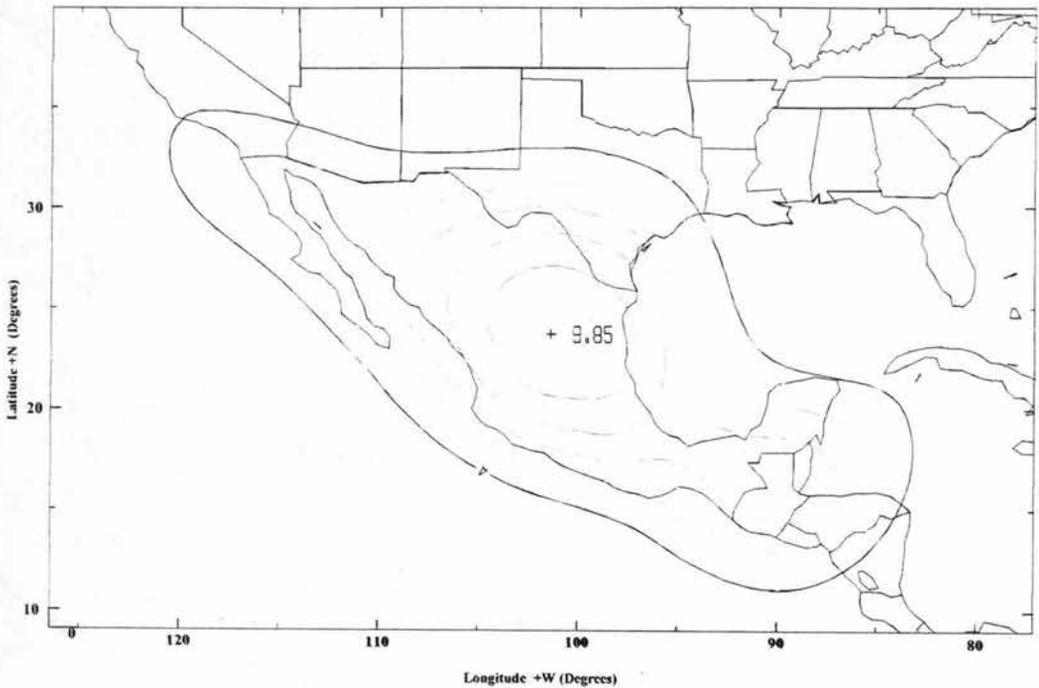
Solidaridad 2 (113.0° W)
SFD
Region 1 C-Band Narrow Xponder
(Pol. Hor/Ver)



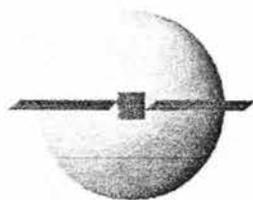
SATMEX PROPRIETARY INFORMATION



Solidaridad 2 (113.0° W)
G/T
Region 1 C-Band Narrow Xponder
(Pol. Hor/Ver)



SOLIDARIDAD 2



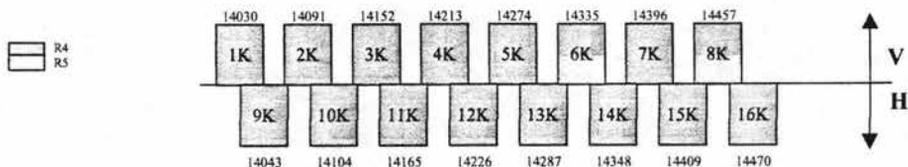
SATMEX



Solidaridad 1 and 2 Frequency Plan KU-Band

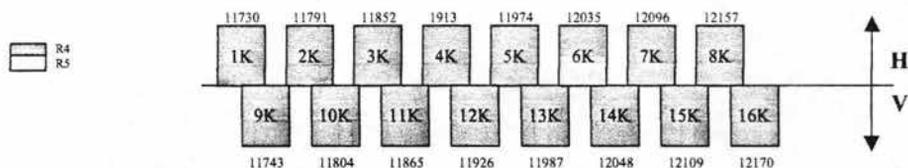
UPLINK (Ground - Satellite)

14000 - 14500 MHz



DOWN LINK (Satellite - Ground)

11700 - 12200 MHz

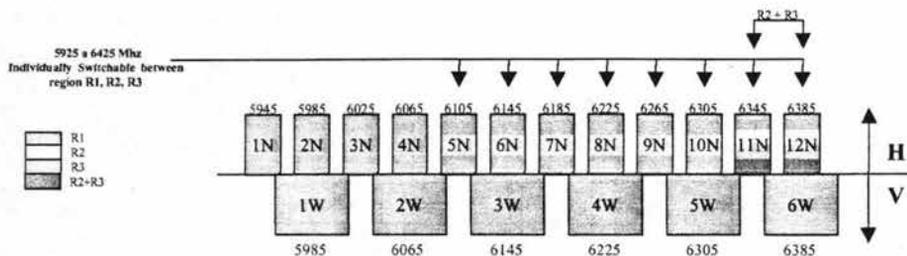




Solidaridad 2 Frequency Plan C-Band

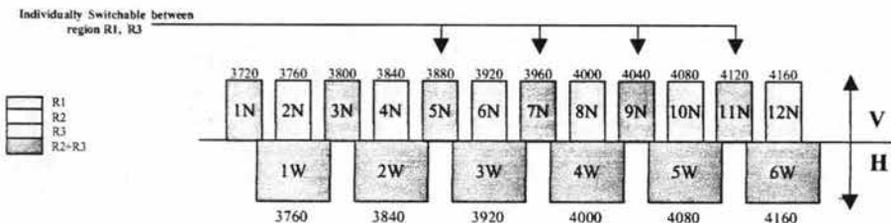
UPLINK (Ground - Satellite)

5925 A 6425 MHz.



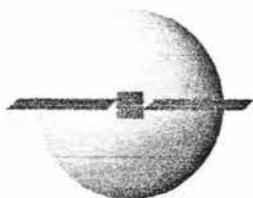
DOWN LINK (Satellite - Ground)

3700 A 4200 MHz



APENDICE C PARAMETROS DEL SATELITE

SOLIDARIDAD 2



SATMEX

C BAND NARROW TRANSPONDERS
Operation parameters of Solidaridad of Solidaridad Satellite System

Service	SCPC	TV.D	TV.A	Broadcast
<i>Operation Parameters</i>				
MIPBO(dB)	7.5	1.0	1.0	9.0
MOPBO (dB)	5.0	0.3	0.3	6.0
CCU (dB)	10.0	10.0	10.0	10.0
<i>Interference Density</i>				
Adjacent Satellite				
Uplink (dBW/Hz)	-110.0	-112.0	-112.0	-106.5
Downlink (dBW/Hz)	-15.0	-17.0	-17.0	-15.0
Cross Polarization				
Uplink (dB/Hz)	-112.5	-116.0	-116.0	-112.5
Downlink (dB/Hz)	-107.5	-107.0	-107.0	-107.5
Adjacent Channels				
Downlink (dB/Hz)	-110.0	-110.0	-110.0	-110.0
Intermodulation				
Uplink (dB/Hz)	-106.0	-130	-130	-106.0
Downlink (dB/Hz)	-97.2	-130	-130	-94.8

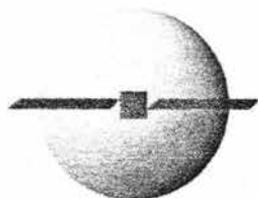
C BAND TRANSPONDERS
Operation Parameters of Solidaridad Satellite System

Service	SCPC	TV.D	TV.A	Broadcast
<i>Operation Parameters</i>				
MIPBO(dB)	7.5	3.8	2.9	4.2
MOPBO (dB)	5.0	2.3	2.0	2.5
CCU (dB)	10.0	10.0	10.0	10.0
<i>Interference Density</i>				
Adjacent Satellite				
Uplink (dBW/Hz)	-109.0	-117.0	-115.0	-115.0
Downlink (dBW/Hz)	-16.0	-18.0	-21.0	-21.0
Cross Polarization				
Uplink (dB/Hz)	-110.0	-110.0	-110.0	-110.0
Downlink (dB/Hz)	-108.0	-109.0	-21.0	-21.0
Adjacent Channels				
Downlink (dB/Hz)	-110.0	-110.0	-110.0	-110.0
Intermodulation				
Uplink (dB/Hz)	-106.0	-130	-130.0	-130.0
Downlink (dB/Hz)	-100.7	-130.0	-130.0	-130.0

Ku BAND TRANSPONDERS
Operation Parameters of Solidaridad Satellite System

Service	SCPC TXP Linearized	SCPC	Digital Broadcast	Saturation compressed video	Half TXP compressed video
Operation Parameters					
MIPBO(dB)	7.5	8.5	8.5	1.0	3.0
MOPBO (dB)	5.1	4.0	4.0	0.3	2.0
TXP attenuator setting	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
Interference Density					
Adjacent Satellite					
Uplink (dBW/Hz)	-120.0	-122.5	-122.5	-115.15	-108.3
Downlink (dBW/Hz)	-12.0	-12.0	-12.0	-16.70	-8.75
Cross Polarization					
Uplink (dB/Hz)	-112.6	-112.6	-112.6	-115.15	-108.3
Downlink (dB/Hz)	-106.5	-106.5	-106.5	-115.15	-108.3
Adjacent Channels					
Downlink (dB/Hz)	-110.0	-110.0	-110.0	-115.15	-108.3
Intermodulation					
Uplink (dB/Hz)	-106.0	-106.0	-106.0	-115.15	-108.3
Downlink (dB/Hz)	Cte en dB	Cte en dB	Cte en dB	Cte en dB	Cte en dB

SOLIDARIDAD 2



SATMEX

**SOLIDARIDAD 2 (113.0° W)
C BAND (REGION 2)**

LOCATION	COORDINATES		ANTENNA ALIGNMENT		POLARIZATION		
					HORIZONTAL/VERTICAL		
	LAT. (° N)	LONG. (° W)	AZIM. (°)	ELEV. (°)	EIRP dBW	G/T dB/K	SFD dBW/m ²
ACAPULCO,GRO.	16.51	99.55	220.08	65.19	35.50	2.20	-92.10
AGUASCALIENTES,AGS.	21.86	102.03	207.50	61.53	38.00	6.20	-96.00
CAMPECHE,CAMP.	19.85	90.48	230.68	55.41	38.40	1.90	-91.80
CANCUN,Q.ROO	21.05	86.46	234.28	51.17	38.80	1.50	-91.30
CHETUMAL,Q.ROO	18.30	88.18	235.83	54.48	38.52	6.82	-96.16
CHIHUAHUA,CHIH.	28.65	106.06	194.24	55.71	38.80	2.90	-92.80
COATZACOALCOS,VER.	18.20	94.45	227.05	59.89	37.50	3.60	-93.40
ENSENADA,BCN	31.52	116.37	173.57	53.12	39.10	1.60	-91.50
GUADALAJARA,JAL.	20.40	103.20	206.36	63.61	37.30	5.10	-95.00
HERMOSILLO,SON.	29.04	110.58	184.98	56.03	40.61	2.36	-91.70
LA PAZ,BCS	24.10	110.18	186.88	61.63	38.30	2.10	-92.00
LEON,GTO.	21.07	101.25	210.05	61.93	37.70	5.90	-95.80
MATAMOROS,TAMPS.	25.53	97.30	213.11	55.39	38.10	6.00	-95.80
MERIDA,YUC.	20.58	89.37	231.22	53.96	38.40	0.90	-90.80
MEXICALI,BCN	32.65	115.45	175.47	51.92	39.50	1.10	-91.00
MEXICO,D.F.	19.35	99.01	216.94	62.25	37.00	4.60	-94.50
MONTERREY,N.L.	25.40	100.19	207.93	57.03	38.90	6.60	-96.50
NUEVO LAREDO,TAMPS.	27.30	99.31	207.97	54.69	38.50	5.60	-95.50
OAXACA,OAX.	17.07	96.73	224.83	62.60	36.40	3.30	-93.20
PUEBLA,PUE.	19.03	98.20	219.02	62.00	37.00	4.30	-94.20
PTO. ESCONDIDO,OAX.	15.50	97.10	226.83	64.16	35.60	2.30	-92.20
PTO. VALLARTA,JAL.	20.37	105.15	201.61	64.50	37.00	4.30	-94.20
SAN LUIS POTOSI,SLP	22.15	100.98	209.45	60.71	38.10	6.50	-96.30
TAMPICO,TAMPS.	22.21	97.85	215.61	58.85	38.00	5.80	-95.70
TAPACHULA,CHIS.	14.54	92.17	236.58	60.52	36.70	4.20	-94.10
TIJUANA,BCN	32.32	117.01	172.53	52.14	38.90	1.50	-91.30
TOLUCA,EDO.M.	19.28	99.67	215.66	62.74	36.90	4.60	-94.40
TORREON,COAH.	25.53	103.45	201.32	58.30	39.50	6.10	-96.00
TUXTLA GUTIERREZ,CHIS.	16.45	93.07	232.01	60.05	37.40	3.90	-93.80
VERACRUZ,VER.	19.12	96.08	222.88	60.40	37.40	4.00	-93.90
VILLAHERMOSA,TAB.	17.59	92.55	230.98	58.78	37.80	3.50	-93.40

Considering Ccu to 0 dB

**SOLIDARIDAD 2 (113.0° W)
CBAND (REGION 1)**

LOCATION	COORDINATES		ANTENNA ALIGNMENT		POLARIZATION VERTICAL/HORIZONTAL			POLARIZATION HORIZONTAL/VERTICAL		
					W			N		
	LAT. (° N)	LONG. (° W)	AZIM. (°)	ELEV. (°)	EIRP dBW	G/T dB/K	SFD dBW/m ²	EIRP dBW	G/T dB/K	SFD dBW/m ²
ACAPULCO,GRO.	16.51	99.55	220.08	65.19	41.60	2.30	-91.00	37.90	6.00	-95.80
AGUASCALIENTES,AGS.	21.86	102.03	207.50	61.53	43.00	7.00	-95.80	39.70	9.80	-99.70
ALBUQUERQUE,N. MEX.	35.10	106.60	191.04	48.67	39.27	2.94	-91.37	39.69	0.71	-89.71
CAMPECHE,CAMP.	19.85	90.48	230.68	55.41	43.00	4.10	-92.80	39.80	6.50	-96.40
CANCUN,Q. ROO	21.05	86.46	234.28	51.17	41.10	2.70	-91.50	38.10	5.00	-94.90
CHETUMAL,Q.R00	18.30	88.18	235.83	54.48	43.45	8.06	-96.49	40.41	10.64	-99.64
CHIHUAHUA,CHIH.	28.65	106.06	194.24	55.71	42.20	4.20	-92.90	39.20	7.50	-97.40
COATZACOALCOS,VER	18.20	94.45	227.05	59.89	43.50	4.90	-93.60	40.20	7.50	-97.40
DALLAS,TEX.	32.75	96.80	208.24	48.07	36.52	-3.48	-84.95	36.63	3.27	-92.27
ENSENADA,BCN.	31.52	116.37	173.57	53.12	41.20	3.90	-92.60	38.40	5.10	-95.00
GUADALAJARA,JAL.	20.40	103.20	206.36	63.61	42.20	5.10	-93.90	38.70	8.70	-98.50
GUATEMALA,GUAT.	14.40	90.30	239.27	58.84	41.40	2.10	-90.90	37.90	7.20	-97.10
HERMOSILLO,SON.	29.04	110.58	184.98	56.03	42.42	6.81	-95.24	40.43	5.74	-94.74
LAS VEGAS,NEV.	36.20	115.10	176.45	47.94	40.08	4.03	-92.46	38.50	2.58	-91.58
LEON,GTO.	21.07	101.25	210.05	61.93	43.00	6.60	-95.40	39.60	9.70	-99.60
LOS ANGELES,CAL.	34.50	119.50	168.63	49.32	40.50	3.00	-91.80	37.60	4.50	-94.40
MATAMOROS,TAMPS.	25.53	97.30	213.11	55.39	42.50	6.30	-95.00	40.00	9.10	-99.00
MERIDA,YUC.	20.58	89.37	231.22	53.96	42.50	3.20	-91.90	39.30	5.40	-95.20
MEXICALI,BCN.	32.65	115.45	175.47	51.92	41.40	4.90	-93.70	39.10	4.80	-94.70
MEXICO,D.F.	19.35	99.01	216.94	62.25	43.10	5.70	-94.40	39.80	8.70	-98.50
MONTERREY,N.L.	25.40	100.19	207.93	57.03	42.90	8.00	-96.80	40.70	10.10	-100.00
NUEVO LAREDO,TAMPS.	27.30	99.31	207.97	54.69	41.90	6.70	-95.40	40.30	9.00	-98.90
OAXACA,OAX.	17.07	96.73	224.83	62.60	42.70	4.00	-92.70	39.30	6.70	-96.60
PHOENIX,ARIZ.	33.40	112.00	181.82	51.15	41.43	6.15	-94.58	40.08	3.85	-92.85
PUEBLA,PUE.	19.03	98.20	219.02	62.00	43.30	5.40	-94.20	39.80	8.30	-98.20
QUERETARO,QRO.	20.60	100.36	212.51	61.90	43.19	6.46	-94.89	39.80	9.56	-98.56
SACRAMENTO,CAL.	38.60	121.50	166.53	44.43	37.55	-0.82	-87.61	34.58	0.96	-89.96
SAN ANTONIO,TEX.	29.28	98.31	208.19	52.23	40.60	4.20	-93.00	39.30	7.40	-97.30
SAN DIEGO,CAL.	32.70	117.26	172.15	51.68	41.07	3.66	-92.09	38.13	5.03	-94.03
TAMPICO,TAMPS.	22.21	97.85	215.61	58.85	43.70	7.00	-95.70	40.60	9.70	-99.60
TIJUANA,BCN.	32.32	117.01	172.53	52.14	41.10	3.80	-92.50	38.20	5.00	-94.80
TOLUCA,EDO.M.	19.28	99.67	215.66	62.74	42.90	5.40	-94.20	39.50	8.50	-98.40
TORREON,COAH.	25.53	103.45	201.32	58.30	43.00	8.60	-97.30	40.80	9.60	-99.50
TUCSON,ARIZ.	32.30	111.00	183.74	52.35	41.76	6.74	-95.17	40.56	4.34	-93.34
VERACRUZ,VER.	19.12	96.08	222.88	60.40	43.50	5.40	-94.10	40.30	7.80	-97.70
VILLAHERMOSA,TAB.	17.59	92.55	230.98	58.78	43.40	4.70	-93.50	40.10	7.60	-97.50

Considering Ccu to 0 dB

SOLIDARIDAD 2 (113.0° W)

C BANDA (REGION 3)

LOCATION	COORDINATES		ANTENNA ALIGNMENT		POLARIZATION		
					HORIZONTAL/VERTICAL		
	LAT. (° S)	LONG. (° W)	AZIM. (°)	ELEV. (°)	EIRP dBW	G/T dB/K	SFD dBW/m ²
ANTOFAGASTA, CHILE	23.39	70.20	293.21	35.25	39.12	3.00	-94.10
AREQUIPA, PERU	16.30	71.42	287.55	39.16	39.39	5.62	-96.18
ASUNCION, PARAGUAY	25.16	57.40	286.23	22.75	39.84	3.00	-94.10
BAHIA BLANCA, ARGENTINA	38.43	62.17	296.86	21.58	38.48	4.10	-95.20
BUENOS AIRES, ARGENTINA	34.36	58.27	291.76	20.33	38.98	4.80	-95.90
CORDOBA, ARGENTINA	31.25	64.19	294.42	26.50	39.31	5.47	-96.03
ENCARNACION, PARAGUAY	27.22	55.90	286.48	20.76	39.70	3.19	-93.75
GUAYAQUIL, ECUADOR	2.10	79.50	273.17	50.99	39.07	6.10	-97.20
IQUITOS, PERU	3.61	73.20	274.32	43.81	39.45	6.98	-97.54
LA PAZ, BOLIVIA	16.30	68.09	285.72	35.79	39.91	6.20	-97.30
LIMA, PERU	12.03	77.03	286.02	46.35	38.21	2.40	-93.50
MARISCAL, PARAGUAY	21.66	60.74	285.94	26.93	40.00	3.72	-94.28
MELO, URUGUAY	35.27	54.12	289.22	16.64	38.85	3.81	-94.37
MONTEVIDEO, URUGUAY	34.53	56.11	290.29	18.51	38.99	4.40	-95.50
PAITA, PERU	5.13	81.10	278.17	52.45	38.36	5.73	-96.29
PAYSANDU, URUGUAY	34.72	57.60	291.45	19.64	39.01	4.57	-95.13
PISAGUA, CHILE	19.44	70.00	289.64	36.64	39.53	5.09	-95.65
PUERTO CASADO, PARAGUAY	23.61	58.01	285.67	23.77	39.85	2.99	-93.55
QUITO, ECUADOR	0.13	78.30	270.19	49.69	38.79	2.90	-94.00
RECONQUISTA, ARGENTINA	28.88	59.53	289.69	23.45	39.79	4.44	-95.00
RIO DE JANEIRO, BRASIL	22.54	43.14	278.00	9.99	37.91	-3.20	-87.90
SALTA, ARGENTINA	24.72	65.45	290.93	30.32	39.94	4.16	-94.72
SAN IGNACIO, BOLIVIA	16.25	61.14	282.39	28.76	39.46	4.12	-94.68
SAN RAFAEL, ARGENTINA	34.44	68.66	300.06	28.52	38.33	4.97	-95.53
SANTIAGO DE CHILE, CHILE	33.25	70.50	300.89	30.60	38.04	4.50	-95.70
SAO PAULO, BRASIL	23.32	46.37	279.71	12.90	38.41	-1.50	-89.60
TARIJA, BOLIVIA	21.38	64.70	287.99	30.82	40.12	4.59	-95.15
VALLENARO, CHILE	29.00	70.80	298.13	33.12	38.32	3.43	-93.99
VILLA BELLA, BOLIVIA	10.27	65.77	279.37	34.80	39.21	3.52	-94.08
VILLA RICA, CHILE	38.88	72.67	306.48	28.80	37.73	1.76	-92.32

Considering Ccu to 0 dB

**SOLIDARIDAD 2 (1113.0° W)
KU BAND (REGION 4)**

LOCATION	COORDINATES		ANTENNA ALIGNMENT		POLARIZATION VERTICAL/HORIZONTAL			POLARIZATION HORIZONTAL/VERTICAL		
					ODD TRANSPONDERS			EVEN TRANSPONDERS		
	LAT. (° N)	LONG. (° W)	AZIM. (°)	ELEV. (°)	EIRP dBW	G/T dB/K	SFD dBW/m ²	EIRP dBW	G/T dB/K	SFD dBW/m ²
ACAPULCO,GRO.	16.51	99.55	220.08	65.19	47.20	6.60	-99.50	47.60	4.40	-95.80
AGUASCALIENTES,AGS	21.86	102.03	207.50	61.53	48.00	5.20	-98.10	49.00	6.60	-98.00
ALBUQUERQUE,N.MEX.	35.10	106.60	191.04	48.67	41.72	-3.72	-88.90	37.09	1.53	-92.90
CANCUN,Q. ROO	21.05	86.46	234.28	51.17	48.70	5.30	-98.20	48.50	6.10	-97.50
CHETUMAL,Q.R00	18.30	88.18	235.83	54.48	50.22	6.10	-98.72	49.16	5.75	-97.12
CHIHUAHUA,CHIH.	28.65	106.06	194.24	55.71	49.10	3.60	-96.50	47.80	5.80	-97.10
CORPUS CHRISTI,TEX.	27.80	97.40	210.91	53.24	49.57	3.97	-96.59	45.42	8.40	-99.77
CULIACAN,SIN.	24.82	107.40	193.15	60.30	48.10	6.80	-99.70	49.40	6.50	-97.80
DALLAS,TEX.	32.75	96.80	208.24	48.07	30.87	-5.92	-86.70	32.19	-16.74	-74.63
ENSENADA,BCN.	31.52	116.37	173.57	53.12	51.30	7.20	-100.10	49.50	8.70	-100.10
HERMOSILLO,SON.	29.04	110.58	184.98	56.03	49.30	6.10	-99.00	48.40	6.10	-97.50
LA PAZ,BCS.	24.10	110.18	186.88	61.63	48.50	7.40	-100.20	49.30	6.70	-98.10
LOS ANGELES,CAL.	34.50	119.50	168.63	49.32	48.10	3.90	-96.70	46.60	6.00	-97.40
MATAMOROS,TAMPS.	25.53	97.30	213.11	55.39	50.20	6.40	-99.30	47.20	8.20	-99.60
MERIDA,YUC.	20.58	89.37	231.22	53.96	49.80	4.60	-97.40	47.80	5.40	-96.80
MEXICALI,BCN.	32.65	115.45	175.47	51.92	49.50	6.50	-99.40	49.20	6.00	-97.30
MEXICO,D.F.	19.35	99.01	216.94	62.25	50.50	9.20	-102.10	49.70	9.70	-101.00
MONTERREY,N.L.	25.40	100.19	207.93	57.03	50.90	5.00	-97.90	48.00	8.30	-99.70
NUEVO LAREDO,TAMPS.	27.30	99.31	207.97	54.69	50.90	5.10	-98.00	47.60	10.70	-102.10
PHOENIX,ARIZ.	33.40	112.00	181.82	51.15	43.90	2.62	-95.24	45.19	-1.92	-89.45
PUEBLA,PUE.	19.03	98.20	219.02	62.00	49.90	8.10	-101.00	49.00	8.20	-99.60
SAN ANTONIO,TEX.	29.28	98.31	208.19	52.23	48.10	2.60	-95.50	44.11	6.37	-97.74
SAN DIEGO,CAL.	32.70	117.26	172.15	51.68	50.43	6.64	-99.26	48.82	8.08	-99.45
SAN LUIS POTOSI,SLP.	22.15	100.98	209.45	60.71	50.60	7.20	-100.10	49.70	6.20	-97.60
TAMPICO,TAMPS.	22.21	97.85	215.61	58.85	49.10	8.10	-100.90	48.40	6.00	-97.40
TAPACHULA,CHIS.	14.54	92.17	236.58	60.52	47.40	5.50	-98.40	47.90	4.60	-96.00
TIJUANA,BCN.	32.32	117.01	172.53	52.14	50.70	6.70	-99.60	49.10	8.20	-99.60
TORREON,COAH.	25.53	103.45	201.32	58.30	48.70	3.40	-96.30	48.10	6.80	-98.20
TUCSON,ARIZ.	32.30	111.00	183.74	52.35	46.23	5.05	-97.67	46.19	3.54	-94.91
TUXTLA GTZ,CHIS.	16.45	93.07	232.01	60.05	49.90	6.20	-99.10	50.20	6.50	-97.80
VERACRUZ,VER.	19.12	96.08	222.88	60.40	48.70	3.80	-96.70	47.80	6.30	-97.60
VILLAHERMOSA,TAB.	17.59	92.55	230.98	58.78	50.10	3.50	-96.40	49.40	5.80	-97.20

Considering Ccu to 0 dB

**SOLIDARIDAD 2 (113.0° W)
Ku BAND (REGION 5)**

LOCATION	COORDINATES		ANTENNA ALIGNMENT		POLARIZATION		
					VERTICAL/HORIZONTAL		
	LAT. (° N)	LONG. (° W)	AZIM. (°)	ELEV. (°)	EIRP dBW	G/T dB/K	SFD dBW/m ²
ATLANTA, GEORGIA	33.45	84.24	224.88	40.40	46.70	6.40	-99.20
CHICAGO, ILLINOIS	42.50	87.60	215.10	34.62	48.30	5.00	-97.80
DALLAS, TEXAS	32.47	96.48	208.92	48.21	48.00	6.20	-99.00
DETROIT, MICHIGAN	42.20	83.03	220.65	32.61	52.50	8.70	-101.50
FRESNO, CALIFORNIA	36.45	119.45	169.23	47.17	48.20	6.10	-98.80
HOUSTON, TEXAS	29.46	95.22	213.11	50.49	48.10	3.70	-96.50
INDIANAPOLIS, INDIANA	39.50	86.55	218.03	36.75	47.80	1.80	-94.50
LA HABANA, CUBA	23.08	82.22	236.65	46.22	47.70	4.20	-96.90
MIAMI, FLORIDA	25.46	80.12	236.38	42.96	49.80	11.00	-103.70
NEW YORK, NEW YORK	40.63	74.01	231.19	28.52	50.00	6.40	-99.20
PITTSBURG, PENNSYLVANIA	40.26	80.00	225.14	32.47	52.00	4.70	-97.50
RENO, NEVADA	39.31	119.48	169.84	44.01	50.60	10.10	-102.90
SAN FRANCISCO, CALIFORNIA	37.48	122.24	165.03	45.48	48.30	4.90	-97.70
TAMPA, FLORIDA	27.57	82.27	232.10	43.33	47.70	9.30	-102.00
TORONTO, ONTARIO	43.39	79.23	224.23	29.62	50.90	7.80	-100.60
WASHINGTON, D.C.	38.54	77.01	229.37	31.89	49.70	6.30	-99.00

Considering Ccu to 0 dB

**SOLIDARIDAD 2 (113.0° W)
C BAND (REGION 2) INTERNATIONALS**

LOCATION	COORDINATES		ANTENNA ALIGNMENT		POLARIZATION HORIZONTAL/VERTICAL N		
	LAT. (° N)	LONG. (° W)	AZIM. (°)	ELEV. (°)	EIRP dBW	G/T dB/K	SFD dBW/m ²
	ALMIRANTE, PANAMA	9.18	82.24	254.99	52.79	37.03	3.67
ARICA, COLOMBIA	2.06	71.47	267.68	41.98	37.50	2.57	-91.91
BARRANQUILLA, COLOMBIA	10.59	74.48	257.00	44.04	39.22	5.17	-94.51
BILWASKAIMA, NICARAGUA	14.45	83.55	246.16	52.17	38.72	2.48	-91.82
BIRGETOWN, BARBADOS	13.06	59.37	260.55	27.59	35.70	2.30	-92.20
BOCA DE CUPE, PANAMA	7.84	77.43	259.20	47.87	38.56	6.45	-95.79
BOGOTA, COLOMBIA	4.36	74.05	264.63	44.68	38.60	6.10	-96.00
CALI, COLOMBIA	3.27	76.31	265.62	47.31	37.80	4.80	-94.70
CARTAGENA, COLOMBIA	10.25	75.32	257.03	45.02	39.20	5.10	-95.00
CD. BOLIVAR, VENEZUELA	8.08	68.33	261.91	37.91	38.90	5.91	-95.25
COLIMA, COL.	19.23	103.73	206.36	65.08	36.24	3.85	-93.19
COLORADO, COSTA RICA	10.46	83.35	252.31	53.57	37.06	2.81	-92.15
CORPUS CHRISTI, TEX.	27.80	97.40	210.91	53.24	37.68	5.00	-94.34
DALLAS, TEX.	32.75	96.80	208.24	48.07	35.13	0.85	-90.19
ISLAS NASSAU, BAH.S.	25.05	77.21	239.57	40.72	38.10	4.20	-94.10
KINGSTON, JAMAICA	18.00	76.48	247.35	43.56	39.60	2.50	-92.30
LA HABANA, CUBA	23.08	82.22	236.65	46.22	38.70	2.90	-92.80
LAS VEGAS, NEV.	36.20	115.10	176.45	47.94	38.47	-1.43	-87.91
LOS ANGELES, CAL.	34.50	119.50	168.63	49.32	38.10	0.80	-90.70
MARACAIBO, VENEZUELA	10.40	71.31	258.54	40.69	39.06	5.37	-94.71
METAPAN, SALVADOR	14.20	89.27	240.84	57.96	37.33	4.27	-93.61
MIAMI, FLORIDA	25.46	80.12	236.38	42.96	37.60	2.60	-92.50
NUEVO LAREDO, TAMPS.	27.30	99.31	207.97	54.69	38.50	5.60	-95.50
ORANGE WALK, BELICE	18.06	88.33	235.98	54.76	38.79	3.18	-92.52
PANAMA, PANAMA	8.58	79.32	257.38	49.77	38.10	5.10	-95.00
PHOENIX, ARIZ.	33.40	112.00	181.82	51.15	40.15	-0.02	-89.32
PLATANILLO, COSTA RICA	8.90	83.15	254.91	53.86	36.48	3.27	-92.61
PROGRESO, GUATEMALA	17.40	90.80	233.77	57.40	38.08	3.56	-92.90
PTO. AYACUCHO, VENEZUELA	5.40	67.68	264.68	37.55	38.60	4.93	-94.27
PTO. BARRIOS, GUATEMALA	15.43	88.36	239.88	56.39	38.16	4.19	-93.53
PTO. CASTILLA, HONDURAS	16.01	86.01	241.56	53.81	38.75	3.53	-92.87
PTO. CORTES, HONDURAS	15.48	87.56	240.70	55.60	38.33	4.06	-93.40
PTO. ESPAÑA, TRINIDAD	10.50	61.50	261.75	30.24	36.90	3.40	-93.30
PTO. PRINCIPE, HAITI	18.32	72.20	249.99	39.22	39.00	3.10	-92.90
SACRAMENTO, CAL.	38.60	121.50	166.53	44.43	34.78	-2.91	-86.43
SAN ANTONIO, TEX.	29.28	98.31	208.19	52.23	37.60	4.30	-94.10
SAN ANTONIO NUEVO, BELICE	16.15	89.02	237.98	56.59	38.25	4.18	-93.52
SAN DIEGO, CAL.	32.70	117.26	172.15	51.68	38.77	1.36	-90.70
SAN FELIX (RIO), PANAMA	8.10	81.51	257.05	52.29	37.06	4.55	-93.89
SAN JOSE, COSTA RICA	9.56	84.05	253.29	54.63	36.30	2.70	-92.60
SN. JUAN D. NORTE, NICARAGUA	10.55	83.42	252.12	53.62	37.08	2.78	-92.12
SN. JUAN D. SUR, NICARAGUA	11.15	85.52	249.61	55.61	36.71	2.49	-91.83
SAN JUAN, PTO. RICO	18.28	66.07	253.66	33.16	37.30	1.60	-91.50
SAN PEDRO SULA, HONDURAS	15.27	88.02	240.52	56.15	38.17	4.16	-93.50
SAN SALVADOR, EL SAL.	13.42	89.12	242.34	58.24	38.10	4.30	-94.20
STA. ROSA, COSTA RICA	10.84	85.54	250.11	55.76	36.50	2.38	-91.72
STA. ROSA, SALVADOR	13.37	87.58	244.05	56.73	37.29	3.69	-93.03
STANN CREEK, BELICE	16.58	88.13	238.38	55.50	38.56	3.85	-93.19
STO. DOMINGO, REP. DOM.	18.28	69.54	251.69	36.60	38.40	2.70	-92.50
SANTIAGO, CUBA	20.01	75.49	245.97	41.72	39.40	3.70	-93.60
TAMPA, FLORIDA	27.57	82.27	232.10	43.33	36.60	0.70	-90.60
TEGUCIGALPA, HON.	14.06	87.13	243.39	55.94	37.80	3.90	-93.70
TUCSON, ARIZ.	32.30	111.00	183.74	52.35	40.50	0.61	-89.95
TUMACO, COLOMBIA	1.49	78.46	267.84	49.84	36.08	1.32	-90.66
ZACATECOLUCA, SALVADOR	13.30	88.52	243.19	57.71	37.01	3.82	-93.16

LOCALIDAD:	LAT. (° S)	LONG. (° W)	AZIM. (°)	ELEV. (°)	PIRE dBW	G/T dB/K	DFS dBW/m ²
LOJA, ECUADOR	4.06	79.13	276.02	50.39	28.21	-13.35	-75.99
RIO BAMBA, ECUADOR	1.40	78.38	272.03	49.76	33.19	-5.79	-83.55

Considering Ccu to 0 dB

Glosario de términos y Abreviaturas.

Aislamiento de polarización cruzada

Relación del nivel de la componente de la señal deseada a la salida de la antena receptora en la misma polarización que la antena transmisora, con respecto a la componente de esta misma señal en la polarización contraria.

Amplificador

Dispositivo diseñado para aumentar el nivel de potencia, voltaje o corriente de señales eléctricas o electromagnéticas

Amplificador de Alta Potencia (HPA)

Dispositivo que incrementa el nivel de potencia de la señal en la etapa final para ser transmitida al satélite.

Amplificador de Bajo Ruido (LNA)

Dispositivo que tiene como función amplificar la señal recibida del satélite a través de una antena con una contribución mínima de ruido.

Amplitud Modulada (AM)

Técnica de modulación mediante la cual la amplitud de una onda portadora de radio varía de acuerdo a la amplitud de la señal de entrada.

Ancho de banda

Es la diferencia entre dos frecuencias dadas. Rango de frecuencias ocupado por una señal.

Angulo de azimut

Angulo de apuntamiento de una antena con respecto al Norte geográfico en el sentido de las manecillas del reloj.

Angulo de elevación

Angulo de apuntamiento de una antena con respecto al plano horizontal.

Antena Cassegrain

Antena de reflector parabólico principal y un subreflector hiperbólico colocado frente al alimentador, entre el vértice y el foco principal del reflector.

Apogeo

Es el punto más alejado del centro de la Tierra en la órbita de un satélite.

Atenuación

Término general para denotar una disminución en la magnitud de una señal en una transmisión de un punto a otro. Puede ser expresada como la relación entre la magnitud de entrada y la magnitud de salida, o en decibeles.

Atenuación por lluvia

Pérdida o reducción de las características de potencia y polarización de las ondas radioeléctricas debido a la lluvia o a nubes muy densas. Varía de región a región de acuerdo a la tasa de pluviosidad.

Back off

Nivel de reducción de potencia a la entrada de un amplificador para asegurar su operación en la región lineal, logrando con esto reducir al mínimo posible el ruido por intermodulación.

Banda de frecuencias

Conjunto de frecuencias comprendidas entre límites determinados.

Banda ancha

De manera general, es un equipo o sistema a través del cual se transmite información a muy alta velocidad. Un sistema de comunicación de banda ancha puede incluir la transmisión simultánea de varios servicios como video, voz y datos.

Banda base

Banda de baja frecuencia que ocupan las señales antes de modular la señal portadora de transmisión.

Banda C

Rango de frecuencias que va de 3.7 a 6.4 GHz utilizada para transmisión/recepción de señales del Servicio Fijo por Satélite y microondas.

Banda Ku

Rango de frecuencias que va de 11 a 18 GHz utilizada para la transmisión/recepción de señales del Servicio Fijo por Satélite.

Banda L

Rango de frecuencias ubicado entre 1 y 2 GHz. Se emplea para comunicaciones móviles por satélite.

Bit Error Rate (BER)

Tasa de bits erróneos. Relación del número de bits erróneos al total de bits transmitidos en un determinado intervalo de tiempo.

Banda Ka

Rango de frecuencias de 20 a 30 GHz utilizada para la transmisión/recepción de señales desde estaciones fijas y móviles.

BPSK

Técnica de modulación digital por corrimiento de fase binario. La información digital se transmite cambiando la fase de la portadora 180°.

Broadcast

Transmisión unidireccional a múltiples puntos receptores.
Radiodifusión.

Constante de Boltzmann

Relación de la energía promedio de una molécula a la temperatura absoluta del medio. Su valor es $k=1.38 \times 10^{-23}$ joules/kelvin = 228.5992 dBJ/K.

Cadena ascendente

Arreglo de equipos de telecomunicaciones utilizados en la transmisión de señales al satélite.

Cadena descendente

Arreglo de equipos de telecomunicaciones utilizados en la recepción de señales desde el satélite.

CCITT

Comité Consultivo Internacional de Telefonía y Telegrafía. Actual Sector de Telecomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T).

CCIR

Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicación. Actual Sector de Radiocomunicación de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-R).

CDMA

Acceso Múltiple por División de Código; también conocida como Acceso Múltiple de Espectro Disperso. Técnica de acceso al satélite mediante la cual la señal es transmitida dentro de un determinado ancho de banda en ciertos periodos de tiempo a través de un código de transformación.

Comando

Ordenes generadas desde una estación terrestre hacia el satélite para su configuración o para efectuar ciertas acciones en éste.

CW

Portadora limpia. Señal sin modular

Centro de caja

Punto central de la posición orbital considerándola dentro de un cubo imaginario en el que deriva el satélite en cualquier dirección con un cierto rango de tolerancia.

Centro de control

Instalación integrada por sistemas y equipos para el control del satélite, recepción de telemetría y transmisión de comandos.

Cobertura

Región de tierra que es alcanzada por la radiofrecuencia emitida por un satélite. También se le denomina área de servicio.

Cobertura configurable

Capacidad del satélite para cambiar su área de servicio

DAMA

Acceso Múltiple de Asignación por Demanda. Técnica de acceso al satélite en la que varias estaciones comparten un determinado ancho de banda en diferentes intervalos de tiempo en función de una solicitud de transmisión y dejándolo disponible para el uso de otras estaciones del sistema.

dB

Unidad estándar para expresar la relación entre dos parámetros utilizando logaritmos de base 10. Se utiliza debido a que facilita los cálculos cuando intervienen cantidades muy grandes y muy pequeñas como en el caso de los enlaces vía satélite.

dBc

Decibeles referidos al nivel de potencia de la portadora.

dB_i

Decibeles referidos a la potencia radiada por una antena isotrópica.

dBm

Decibeles referidos a la potencia expresada en miliwatts.

dBW

Decibeles referidos a la potencia expresada en Watts. La potencia de los satélites se expresa en dBW.

Densidad de potencia de ruido

Es la potencia de ruido generada por unidad de ancho de banda o en un determinado ancho de banda de referencia.

Derechos de aterrizaje

Permiso que otorga el ente regulador de un país para la transmisión de señales desde estaciones terrenas ubicadas en su territorio hacia satélites determinados.

E_b/N₀

Relación de energía por bit a densidad espectral de ruido en Watts por Hertz.

Estación terrestre

Estación situada en un punto fijo en la Tierra destinada a establecer comunicación con una o varias estaciones espaciales, puede ser transmisora, receptora o transreceptora.

FDMA

Acceso Múltiple por División de Frecuencia. Técnica de acceso al satélite en la que cada portadora se transmite de manera constante en una frecuencia exclusiva durante todo el tiempo.

Figura de Mérito (G/T)

Es un indicador de la sensibilidad del sistema de recepción. Se define como la relación de la ganancia de la antena a la recepción con respecto a la temperatura de ruido del sistema a la recepción; sus unidades normalmente son dB/K.

Figura de ruido

Representada como la relación señal a ruido a la entrada de un sistema con respecto a la relación señal a ruido a la salida del mismo sistema. Es la medida de la degradación de la relación señal a ruido en un sistema de comunicaciones.

Guía de onda

Dispositivo para conducción de ondas electromagnéticas.

Interferencias solares

Fenómeno natural que se presenta cuando el Sol atraviesa el plano ecuatorial de la Tierra y queda alineado con el satélite y el haz de la antena de una estación terrena. La radiación de energía electromagnética del Sol provoca un incremento importante en la temperatura de la antena, que interfiere con su operación normal. Las interferencias solares se presentan dos veces al año durante los equinoccios de primavera y otoño; su duración es de alrededor de 10 minutos por cinco días aproximadamente.

Interferometría

Detección, análisis y erradicación de interferencias

Modulación por Código de Pulsos (PCM)

Técnicas de modulación a través de la cual una señal analógica puede ser transmitida de manera digital mediante un proceso de

muestreo, cuantificación y codificación. Tiene la ventaja de poder regenerar su señal digital en puntos intermedios del medio de transmisión, sin embargo requiere mayor ancho de banda.

Multicasting

Transmisión desde un sólo punto a múltiples usuarios de una red que pertenecen a un grupo definido, no necesariamente a todos.

Orilla de cobertura (EOC)

Limite del área de servicio de un satélite.

Portadora

Señal de frecuencia fija generalmente, que es modulada por la señal de información a fin de transportarla.

Portadora limpia (CW)

Señal sin modular, onda continua.

Portadora modulada

Señal que variará su amplitud, fase o frecuencia con respecto a una referencia conocida de acuerdo a la técnica de modulación utilizada en la transmisión.

Canal Unico por Portadora (SCPC)

Técnica de acceso al satélite por división de frecuencia (FDMA) en el que la portadora se transmite de un punto a otro de manera continua.

Atenuador de posición (ATP)

Dispositivo que reduce la potencia a la entrada del sistema. En un satélite de comunicaciones disminuye la sensibilidad a la recepción. Su valor se expresa en dB.

Posición orbital

Es la ubicación de un satélite en el arco orbital. Se expresa en grados (Este / Oeste) a partir del meridiano de Greenwich.

PSK

Modulación por Corrimiento de Fase. Técnica de modulación digital.

Potencia Isotrópica Radiada Efectiva (PIRE ó EIRP)

Es el resultado de la combinación de la potencia del transmisor con la ganancia de la antena en una dirección determinada: hacia el satélite o del satélite hacia la estación receptora. Se expresa en dBW.

Rango

Es el proceso a través del cual se determina la ubicación exacta del satélite.

Rango del atenuador

Ajuste de ganancia de un transpondedor expresado en dB

Relación portadora a densidad de ruido (C/No)

Relación de potencia entre la portadora y la densidad de potencia de ruido en un ancho de banda de 1 Hz. Se expresa en dB/Hz.

Relación portadora a ruido (C/N)

Relación de la potencia de una portadora digital con respecto a la potencia de ruido en el ancho de banda que ocupa. Se expresa en dB.

Relación señal a ruido

Relación de la potencia de una señal analógica con respecto al nivel de ruido. Se expresa en dB.

Ruido

Señales indeseables en un circuito de comunicaciones. Se expresa en dB.

Ruido térmico

Ruido producido por el movimiento aleatorio de los electrones tanto en un medio de transmisión como en los equipos de comunicación.

Ruido de intermodulación

Se presenta cuando una o más señales pasan a través de un dispositivo no lineal con niveles de entrada demasiado altos produciendo señales espurias.

Satélite

Cuerpo que gira alrededor de otro y cuyo movimiento está determinado principal y permanentemente por la fuerza de atracción de éste último. En comunicaciones, artefacto puesto alrededor de la Tierra como repetidor de señales de radiofrecuencia.

Satélite geoestacionario

Satélite geosincrónico cuya órbita circular se encuentra sobre el plano ecuatorial y que aparentemente permanece fijo con respecto a un punto determinado sobre la Tierra. La altura de la órbita geoestacionaria es de aproximadamente 36,000 kms.

Satélite de giro

Satélite estabilizado debido al giro de una de sus secciones.

Satélite triaxial

Satélite estabilizado en sus tres ejes y con movimiento en las tres direcciones gracias a la disposición de los impulsores.

Sistema de Localización de Transmisores (TLS)

Sistema para geolocalización de fuentes generadoras de interferencia radioeléctrica.

Telemetría

Información del satélite a través de la cual se conoce su salud y su configuración.

TDMA

Acceso Múltiple por División de Tiempo. Técnica de acceso al satélite en la que un determinado ancho de banda es utilizado por múltiples estaciones en diferentes intervalos de tiempo.

Tolerancia de deriva

Rango en el cual un satélite puede moverse dentro del cubo imaginario alrededor de su posición orbital.

Transpondedor

Parte esencial del subsistema de comunicaciones de un satélite que tiene como función principal la de amplificar la señal que recibe de la estación terrena, cambiar la frecuencia y retransmitirla

nuevamente a una estación terrena ubicada dentro de su área de cobertura.

UIT

Unión Internacional de Telecomunicaciones (International Telecommunications Union).

Vida útil de un satélite

Periodo de tiempo en el que un satélite presta servicios.

Abreviaturas

ATP	Atenuador de posición
AB	Ancho de banda.
Back-off	Margen de potencia entre el punto de saturación y el de operación de un amplificador.
BOI	Back off de entrada.
BOO	Back off de salida.
CDMA	Acceso múltiple por división de código.
C/I _o CROSS POL	Relación portadora a densidad de ruido de intermodulación de polarización cruzada
C/I _o SAT INT	Relación portadora a densidad de ruido de intermodulación del satélite.
C/I _o HPA INT	Relación portadora a densidad de ruido de intermodulación del hpa.
C/I _o CANAL ADY	Relación portadora a densidad de ruido de intermodulación de canales adyacentes.
C/I _o SAT ADY	Relación portadora a densidad de ruido de intermodulación de satélite adyacente.
dB.	Decibeles
Dens _{DE INTE SAT}	Densidad de intermodulación del satélite.
DFP.	Densidad de flujo por portadora.
DFS	Densidad de flujo de saturación
Dfs _{SAT}	Densidad de flujo de saturación del satélite.
Eb/No	Energía de bit sobre densidad de ruido.
EOC	En el borde de cobertura.
E.T	Estación terrena.
FEC	Factor de error de corrección.
FI	Frecuencia intermedia.
FM	Factor de modulación

G/T	Factor de calidad, figura de merito (ganancia /temperatura).
Ghz	Giga Hertz
Grx	Ganancia de antena a la recepción.
Gtx	Ganancia de antena a la transmisión.
H/V	tipo de polarización Horizontal/ vertical.
HPA	amplificador de alta potencia.
HPA _{INT}	Intermodulación en el hpa
INT _{asc cross pol}	Interferencia de polarización cruzada ascendente
INT _{ASC SAT ADY}	Interferencia de satélites adyacentes
INT _{DESC CANAL ADY}	Interferencia por canal adyacente
INT _{DESC CROSS POL}	Interferencia por polarización cruzada descendente
IPBO	Back-off de entrada por portadora
IMUX	Multiplexor de entrada
K	Constante de Boltzman.
Kbps	Kilo bits por segundo
Long _{sat}	longitud del satellite
Long _{E/T}	longitud de la estación terrena
Lat _{E/T}	latitud de la estación terrena
Lp	Pérdidas por dispersión.
Lna	(low noise amplifier) amplificador de bajo ruido.
Mhz	mega Herat.
No	Densidad de ruido
OPBOi	Back-off de salida por portadora
OMUX	Multiplexor de salida.
PIRE	Potencia radiada Isotropica efectiva.
Pol	Polarización..
Roll off	Factor de ensanchamiento del espectro.
SCPC	Canal único por portadora
TDMA	Acceso múltiple por división de tiempo
Vinf	Velocidad de información

Bibliografía

Satélites de comunicaciones,
Rodolfo Neri Vela
Mc Graw-Hill

T.T. Ha "Digital Satellite Communications "
Mc Graw-Hill 1990

T. Prant; C.W. Bostian " Satellite Communication ";
Wiley 1986.

G. Maral, M, Bousquet" Satellite Communications Systems. 2nd
Edition Wiley; 1993.

CCIR "Manual de telecomunicaciones por satélite 1988.

Sistemas de comunicación electrónica
Tomassi
Mc Graw-Hill 1990

Space Mission Analysis and Design". Wiley J. Larson & James R.
Wertz. Kluwer Academics Publishers 1992.

"Mobile satellite communications handbook". Roger Cochetti.
Quantum Mill Valley, 1998

"Digital Satellite Communications". Tri. T. Ha. 2nd edition. McGraw -
Hill, New York 1990.

"U.I.T.-R. Recomendaciones e informes". U.I.T., 2001.

http://www.bibliodgsca.unam.mx/tesis/tes11johc/sec_2.htm

<http://www.eveliux.com>

<http://www.globalstar.com>

<http://www.gr.ssr.upm.es/rcii/listatps.htm>

<http://www.intelsat.com>

<http://www.loralspace.com>

<http://www.satmex.com.mx>

<http://www.telecomm.net.mx>