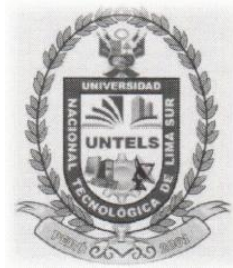


# UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y AMBIENTAL

INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES



OPTIMIZACIÓN DE ENLACE DE COMUNICACIÓN SATELITAL EN LA  
EMPRESA AMÉRICA MÓVIL EN LA CIUDAD DE IQUITOS, PERÚ

TEMA DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO  
ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES

PRESENTADO POR EL BACHILLER  
HANS NESTOR MONTERO BELLEZA

Villa El Salvador

2015



# UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR UNTELS

“Año de la Promoción de la Industria Responsable y del Compromiso Climático”

## FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y AMBIENTAL

### ACTA FINAL DEL EXAMEN DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES

En Villa El Salvador siendo las.....09:00..... del 28 de Abril de 2015, se reunieron en el Salón de Grados los Miembros del Jurado Evaluador del Examen de Suficiencia Profesional integrado por:

Presidente :Dr.Ing.Elmer Cordova Zapata CIP N° ...97004  
 Secretario :Mg.Ing.Hugo Carhuallanqui Aliaga CIP N° ...055264  
 Vocal : Mg.Ing.Oscar Alfredo Dall’Orto Gates CIP N° ...91766.....

Nombrados según Resolución de Facultad N° 167-2015-CO-P-FIMEA, de fecha 28 de abril de 2015.

Concluida la Sustentación del Tema de Actualidad se procede a registrar la nota obtenida en el Examen de Conocimientos Profesionales y la nota obtenida en la Sustentación del Tema Especifico de Actualidad, para obtener el Promedio Final del Examen de Suficiencia.

BACHILLEREVALUADO (A): Montero Belleza Hans Nestor

NOTA DEL EXAMEN DE CONOCIMIENTOS PROFESIONALES	NOTA DE SUSTENTACIÓN DEL TEMA ESPECIFICO DE ACTUALIDAD	PROMEDIO	CONDICION	EQUIVALENTE
16	14	15	APROBADO	BUENO

HUGO H. CARHUALLANQUI ALIAGA  
 INGENIERO ELECTRÓNICO  
 C.I.P. 055264

SECRETARIO

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ  
  
 Ing. CIP OSCAR ALFREDO DALL'ORTO GATES  
 INGENIERO ELECTRÓNICO  
 CIP N° 91766

VOCAL

ELMER JAVIER CORDOVA ZAPATA  
 INGENIERO MECATRONICO  
 Reg CIP N° 97004

PRESIDENTE

## DEDICATORIA

A Dios y a mis padres quienes me han apoyado para poder llegar a esta instancia de mi carrera, apoyándome a cada instante. También dedico este trabajo a mis hermanas quienes han sido mi mayor motivación.

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y motivación durante todo el periodo de estudio.

Agradezco a mis padres por el apoyo y soporte que siempre me brindan, a mis hermanas y mis familiares, por facilitarme las cosas, de mis familiares agradezco en especial a mi Abuela por ayudarme y apoyarme continuamente.

Son muchas las personas especiales a las que quisiera agradecer su apoyo incondicional en las diferentes etapas de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en el corazón. Sin importar en dónde se encuentren o si alguna vez llegan a leer esto; quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado.

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>3</b>
1.1 Descripción de la realidad problemática .....	3
1.2 Justificación del problema .....	3
1.3 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	3
1.3.2 Espacial .....	3
1.3.3 Temporal .....	3
1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.5 OBJETIVO .....	3
1.5.1 Objetivo general.....	3
1.5.2 Objetivo específico .....	3
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>4</b>
2.1 ANTECEDENTES .....	4
2.2 BASES TEÓRICAS .....	6
2.2.1 Tipos de satélites.....	6
2.2.1.1 Satélites naturales .....	6
2.2.1.2 Satélites artificiales.....	6
2.2.2 Tipos de órbitas .....	7
2.2.2.1 Órbita Terrestre Geosíncrona (GEO) .....	7
2.2.2.2 Órbita Terrestre Media (MEO) .....	8
2.2.2.3 Órbita Terrestre de Baja altura (LEO) .....	8
2.2.3 Problemas de puesta en órbita.....	8
2.2.4 Segmento espacial.....	10
2.2.5 Bandas de Radio Frecuencia utilizadas en la comunicación satelital.....	12
2.2.6 Partes de un satélite artificial .....	13
2.2.6.1 Subsistema de comunicaciones.....	13
2.2.6.2 Transponder.....	14
2.2.7 Estructura y funcionamiento de una estación terrena Transmisora/ Receptora	14
2.2.8 Ángulo de elevación y ángulo de azimut de una antena satelital .....	17
2.2.9 La antena su configuración geométrica y su funcionamiento .....	18
2.2.9.1 Alimentación frontal.....	18
2.2.9.2 Alimentación Descentrada .....	19

2.2.9.3 Alimentación Cassegrain.....	20
2.2.9.4 Alimentación Gregoriana.....	21
2.2.9.5 Cuadro comparativo entre los tipos de antenas.....	22
2.2.10 Polarización.....	24
2.2.11 Amplificador de alta potencia.....	25
2.2.11.1 Tubo de ondas progresivas (TWT) .....	26
2.2.11.2 Amplificador Klystron.....	27
2.2.11.3 Amplificador de estado sólido.....	27
2.2.12 Amplificador de bajo nivel de ruido (LNA) y (LNB).....	29
2.2.13 Factores que influyen en la elección de frecuencias .....	30
2.2.14 Convertidores de frecuencia (descendente y subida) .....	33
2.2.15 Subsistema de banda base .....	33
2.2.16 Módem.....	34
2.2.17 Patrón de radiación de antenas satelitales (Huellas).....	34
2.2.18 Absorción por lluvia .....	37
2.3 MARCO CONCEPTUAL.....	38
2.3.1 Propagación de RF para comunicación satelital .....	38
2.3.1.1 Pérdida en trayectoria por el espacio libre.....	38
2.3.1.2 Ruido de precipitación atmosférica, producido por lluvia intensa.....	39
2.3.1.3 La radiación solar, así como la luna como repetidor solar .....	40
2.3.1.4 Interferencia terrestre.....	41
2.3.1.5 Interferencia de satélites contiguos y canales contiguos .....	41
2.3.1.6 Pérdidas por transmisión debido a un eclipse .....	41
2.3.2 Parámetros de del sistema de satélites.....	42
2.3.2.1 Perdida por reducción.....	42
2.3.2.2 Potencia de transmisión y energía de bit .....	43
2.3.2.3 Potencia efectiva irradiada isotrópicamente (PIRE).....	43
2.3.2.4 Temperatura equivalente de ruido .....	44
2.3.2.5 Perdida por trayectoria en el espacio libre (FSL).....	44
2.3.2.6 Relación de ganancia a temperatura equivalente de ruido.....	45
2.3.2.7 Relación de portadoras a densidad de ruido .....	45
2.3.2.8 Relación de energía de bit a densidad de ruido.....	45
2.3.2.9 Ganancia de antena.....	46

2.3.2.10 Ancho del haz .....	46
2.3.2.11 Pérdida por propagación.....	47
2.3.2.12 Densidad de potencia.....	48
2.3.2.13 Potencia en el receptor .....	48
2.3.1.14 Relación ganancia a temperatura equivalente de ruido con lluvia .....	49
2.3.2.15 Satélite Satmex 6.....	50
2.3.2.15.1 Especificaciones técnicas del satélite Satmex 6.....	50
<b>CAPITULO III: DISEÑO DE ENLACE SATELITAL ENTRE LA ESTACIÓN TERRENA DE VILLA EL SALVADOR Y LA ESTACIÓN REMOTA UBICADA EN IQUITOS .....</b>	<b>51</b>
3.1 Cálculo de enlace para la Estación terrena Transmisora .....	53
3.1.1 Calculo de Angulo de elevación y azimut .....	56
3.1.1.1 Cálculo del ángulo de elevación y azimut de la E/T transmisora ubicada .....	56
3.1.1.2 Cálculo del ángulo de elevación y azimut de la Estación terrena receptora ubicada en la Loreto, Iquitos .....	57
3.1.2 Cálculo de la distancia al satélite Satmex 6 .....	58
3.1.2.1 Distancia al satélite Satmex 6 desde la estación terrena transmisora .....	58
3.1.2.2 Distancia al satélite Satmex 6 desde la estación terrena receptora .....	58
3.1.3 Cálculo de la atenuación en el espacio libre.....	59
3.1.3.1 Atenuación por espacio libre desde la E/T Tx al satélite Satmex 6 .....	59
3.1.3.2 Atenuación por espacio libre desde la E/T Rx al satélite Satmex 6 .....	59
3.1.4 Cálculo de la Relación de Potadora a Ruido (C/N).....	60
3.1.4.1 Relación C/N del enlace ascendente.....	60
3.1.4.2 Relación C/N del enlace descendente .....	61
3.1.4.3 Cálculo del C/N total .....	62
3.1.5 Cálculo de la Potencia del Amplificador de Alta Potencia.....	63
3.1.5.1 Cálculos de La Pérdida de Dispersión (LDIS) .....	64
3.1.5.2 Cálculo de la atenuación por lluvia .....	65
3.1.6.1 Atenuación por lluvia en Lima, Villa El Salvador .....	65
3.1.6.2 Atenuación por lluvia en Loreto, Iquitos .....	68
3.2 Estación Terrena Remota.....	70
3.2.1 Cálculo de la atenuación en el espacio libre.....	74
3.2.1.1 Atenuación espacio libre desde E/T Tx Iquitos al satélite Satmex 6.....	74

3.2.1.2 Atenuación por espacio libre desde el satélite Satmex 6 a la E/T Rx.....	74
3.2.2 Cálculo del C/N.....	74
3.2.2.1 Cálculo de relación portadora a ruido C/N Descendente .....	75
3.2.2.2 Cálculo de relación portadora a ruido C/N ascendente .....	76
3.2.2.3 Cálculo del C/N total .....	77
3.2.3 Cálculo del Amplificador de Alta Potencia (HPA).....	78
3.2.4 Cálculo de la atenuación por lluvia.....	79
3.2.4.1 Calculo de la atenuación por lluvias en Iquitos, Loreto .....	79
3.2.4.2 Calculo de la atenuación por lluvias en Villa El Salvador, Lima .....	82
3.3 CONSOLIDACIÓN DE RESULTADOS.....	85
3.3.1 VALORES DEL ENLACE ORIGINAL .....	85
3.3.2 VALORES RESULTADO DEL NUEVO DISEÑO .....	86
CONCLUSIONES .....	88
RECOMENDACIONES .....	89
BIBLIOGRAFÍA .....	90
ANEXOS .....	91
ANEXOS 1 .....	91
ANEXOS 2.....	92
ANEXOS 3.....	100
ANEXOS 4.....	102



## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Movimiento de un satélite artificial.....	6
Figura 2.2 Órbita Geoestacionaria.....	10
Figura 2.3 Colocación de Satélites .....	10
Figura 2.4 Arco Orbital Geoestacionario .....	11
Figura 2.5 Diagrama de bloques de un transponder .....	13
Figura 2.6 Diagrama de bloque de una estación terrena general.....	14
Figura 2.7 Ángulo de elevación de la antena de la estación terrena, Tx y Rx.....	17
Figura 2.8 Ángulo de azimut de la antena de la estación terrena Tx y Rx.....	17
Figura 2.9 Antena parabólica con alimentación frontal (Modo de transmisión) .....	18
Figura 2.10 Antena parabólica con alimentación descentrada.....	19
Figura 2.11 Antena parabólica Cassegrain.....	20
Figura 2.12 Antena gregoriana.....	21
Figura 2.13 a) Anchos de banda klistron, b) Anchos de banda GaAs FEET; c) Transceiver (HPA) marca ANASAT hasta 23 Watts; d) HPA SSPA marca TGR Banda C 5 Watts .....	26
Figura 2.14 a) LNB marca NORSTAT modelo 4506A Banda Ku; b) LNB marca California Amplifier Banda Ku, 1.1 dB; c) LNA marca California Amplifier Banda C, 40 K.....	30
Figura 2.15 Diagrama de Modem Satelital.....	34
Figura 2.16 Patrones de radiación de antena de satélites (huellas) .....	35
Figura 2.17 Haces: a) localizado; b) zonal; c) global .....	36
Figura 2.18 Precipitación afectando enlace satelital.....	37
Figura 2.19 Enlace descendente afectado por la radiación solar .....	40
Figura 2.20 Enlace afectado por la posición de las antenas y la radiación solar .....	40
Figura 2.21 Enlace afectado por la dirección de la antena .....	40
Figura 2.22 Curva característica de entrada/salida de un amplificador de alta potencia.....	42
Figura 2.23 Ancho del haz .....	46

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Las bandas de frecuencia usadas en comunicación satelital.....	12
Tabla 2.2 Ventajas y Desventajas de los tipos de antenas.....	22
Tabla 2.3 Tabla de Características de las antenas para el servicio fijo por satélite...	23
Tabla 2.4 Principales características usuales de los amplificadores de potencia disponibles.....	28
Tabla 2.5 Ventajas y desventajas de la Banda Ku y C.....	32
Tabla 2.6 Especificaciones técnicas del satélite Satmex 6.....	50
Tabla 2.7 Características de las antenas.....	54
Tabla 2.8 Datos del satélite.....	55
Tabla 2.9 Características de la portadora.....	55
Tabla 2.10 Valores para el cálculo de atenuación por lluvia (Lima) .....	65
Tabla 2.11 Valores para el cálculo de atenuación por lluvia (Loreto) .....	68
Tabla 2.12 Características de las antenas.....	71
Tabla 2.13 Datos del satélite para los puntos de interés.....	72
Tabla 2.14 Características de la portadora.....	73
Tabla 2.15 Valores para el cálculo de atenuación por lluvia.....	79
Tabla 2.16 Valores para el cálculo de atenuación por lluvia.....	82

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación lleva por título “OPTIMIZACIÓN DE ENLACE DE COMUNICACIÓN SATELITAL ENTRE EL DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR Y EL DISTRITO DE IQUITOS, PERÚ”, para optar el título de Ingeniero Electrónico y Telecomunicaciones, presentado por el bachiller Hans Néstor Montero Belleza.

En primer lugar se aborda la realidad problemática observada en el diseño del enlace satelital a instalar en una estación terrena de la ciudad de Iquitos con el fin de implementar un enlace satelital entre Lima e Iquitos.

La estructura a seguir en este proyecto se compone de tres capítulos. El primer capítulo comprende el planteamiento del problema, el segundo capítulo el desarrollo del marco teórico y el tercer capítulo corresponde al desarrollo del diseño.

# **CAPITULO I:**

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 Descripción de la realidad problemática**

Actualmente existe un enlace satelital entre el Telepuerto ubicado en el distrito de Villa El Salvador y la estación terrena remota ubicada en la ciudad de Iquitos, dicho enlace utiliza como instrumento de comunicación al satélite Satmex 6 también llamado Eutesat 113. El enlace satelital sufre problemas de deterioro en su señal que impactan en el servicios de comunicación por lo que continuamente se producen cortes en el servicio de la transmisión de datos.

Las degradaciones son caudadas por las precipitaciones que son muy recurrentes en esta región de nuestro país. Adicionalmente a estos fenómenos atmosféricos, se sabe que existe una construcción de una vivienda que posiblemente esté obstruyendo a la línea de vista de la antena parabólica de la estación remota.

Es por ellos que se requiere de un nuevo diseño de enlace y una nueva ubicación de la antena remota para optimizar el enlace satelital y de este modo mejorar su rendimiento y performance.

## **1.2 Justificación del problema**

Debido al hecho de que el enlace de comunicación satelital se ve constantemente degradado por los fenómenos atmosféricos y la posible obstaculización de la línea de vista, se decide realizar los cálculos para un nuevo enlace satelital, esta vez instalando una antena parabólica en una locación distinta para evitar el obstáculo de la línea de vista de la vivienda en construcción aledaña.

## **1.3 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.3.1 Espacial:**

El diseño y nueva ubicación del enlace satelital se realiza entre la Estación Maestra satelital en el distrito de Villa El Salvador y la estación remota de la ciudad de Iquitos.

### **1.3.2 Temporal:**

Comprende el periodo agosto de 2014 a noviembre de 2014.

## **1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cómo diseñar el enlace satelital entre la estación Maestra ubicada en Villa El Salvador y la estación remota ubicada en la ciudad de Iquitos para obtener un mejor rendimiento y performance del enlace de comunicación?

## **1.4 OBJETIVO**

### **1.5.1 Objetivo general**

Diseñar el enlace satelital entre la estación Maestra ubicada en Villa El Salvador y la estación remota ubicada en la ciudad de Iquitos.

### **1.5.2 Objetivo específico**

Mejorar el rendimiento y performance del enlace de comunicación satelital.

# **CAPITULO II:**

## **MARCO TEÓRICO**

### **2.1 ANTECEDENTES**

A lo largo de la investigación, se encontraron varias tesis que sirvieron de ayuda para el presente trabajo, entre ellas están:

Jhon Cruz Ramírez.(2007).”Diseño de un enlace satelital”. Este trabajo de investigación pretende dar a conocer una visión general de los diferentes tipos de satélites desde su origen hasta la actualidad, así como los equipos terrestres que se necesitan para la comunicación vía satélite, proponiendo el cálculo del enlace, el que pretende ser una herramienta para facilitar más el enlace satelital teniendo como problema un fenómeno meteorológico muy común en este tipo de transmisión, el de lluvia en ambos lados tanto en la estación transmisora como en la receptora.

Gabriel Sevilla Soto. (2006)”Diseño de un enlace satelital para la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas y el Distrito Federal de México”. Éste estudio surge debido a la necesidad de contar con alternativas de transmisión de la señal de televisión en cualquier lugar y situación, el sistema vía satélite facilita la transmisión de señales desde cualquier punto del mundo y tener una recepción de mejor calidad, con mayor cobertura y con menor tiempo de espera entre lo que se envía y lo que se recibe. El objetivo de este trabajo es llevar a cabo un diseño de enlace satelital mediante cálculos, y por medio de sus resultados saber que las condiciones son o no favorables que nos permitan enviar señales

de televisión en cualquier lugar del país de origen de la tesis; analizando sus elementos, condiciones de operación y los fenómenos meteorológicos.

Cesar Hernández. (2010) "Metodología para el diseño de enlace satelital". En este documento se presenta información, fenómenos, parámetros y características que describen y modelan los enlaces satelitales por medio de cálculos teóricos que pueden sustentar los fenómenos de la propagación de las ondas de radio frecuencia en la bandas utilizadas en este tipo de telecomunicación.

## 2.2 BASES TEÓRICAS

### 2.2.1 Tipos de satélites.

#### 2.2.1.1 Satélites naturales.

Es un cuerpo celeste animado con movimiento de translación entorno, generalmente, de un planeta.

#### 2.2.1.2 Satélites artificiales.

Los satélites artificiales son aquellos objetos puestos en órbita mediante la intervención humana, creados por el hombre; el cual es colocado en órbita alrededor de un astro.

Es un elemento físico capaz de recibir y transmitir señales en forma analógica o digital de alta calidad, está colocado en órbita por las necesidades que tiene el hombre para recibir y transmitir información desde y a cualquier punto de la tierra. La mayoría de los satélites de comunicación se colocan en el arco satelital, es decir, se encuentran en la órbita geosíncrona o geoestacionaria, a una altura aproximada de 36,000 kilómetros sobre el Ecuador; su velocidad es igual a la rotación terrestre; por ellos cada satélite parece inmóvil con respecto a la tierra, permitiendo que las antenas fijas apunten directamente.

Un satélite es capaz de recibir y transmitir datos, audio y video en forma analógica o digital de alta calidad y en forma inmediata. Está formado por transpondedores. El satélite toma su energía de la radiación solar, cada satélite tiene un tiempo de vida determinado que varía según la cantidad de combustible que posee. Dicho combustible sirve para mover al satélite cada vez que éste se sale de su órbita, si el satélite pierde su posición y no tiene combustible, no hay manera de regresarlo ya que es atraído por la fuerza gravitacional de otros planetas hasta que se pierde. Los satélites tienen un margen bien determinado en el espacio, como un cubo imaginario de aproximadamente 75 kilómetros por lado, en el cual se desplaza sin salirse de control.

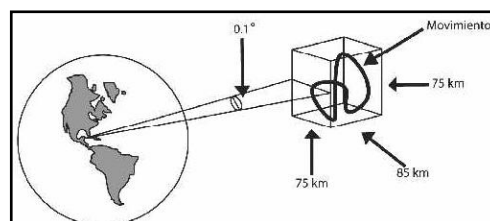


Figura 2.1 Movimiento de un satélite artificial.



## **2.2.2 Tipos de órbitas**

Una forma de diferenciar los sistemas de satélites, es por la altura a la que se encuentra la órbita por la que circulan, además ésta también influirá de forma decisiva a la hora de obtener el número de satélites necesario para conseguir la cobertura deseada. Dado cierto ancho de haz, el área de cobertura será mucho menor estando en una órbita baja que en otra de mayor altura. Por otro lado la potencia necesaria para emitir desde órbitas bajas es menor, con los inconvenientes que ello conlleva.

Se pueden diferenciar tres tipos de órbitas según sus altitudes:

### **2.2.2.1 Órbita Terrestre Geosíncrona (GEO)**

También conocida como órbita de Clarke, en honor al escritor Arthur Clarke, que escribió en 1945 por primera vez de esta posibilidad. La órbita GEO está situada a 35789 Kilómetros de altura, con una latitud de 0 grados, es decir, situada sobre el Ecuador.

El período de esta órbita es de exactamente 24 horas y por lo tanto estará siempre sobre la misma posición relativa respecto a la Tierra. La mayoría de los satélites actuales son geosíncronos.

Los satélites GEO (satélites que viajan en órbitas GEO) precisan menos cantidad de ellos para cubrir la totalidad de la superficie terrestre, pero poseen un retardo de 0,24 segundo por día, de ahí que no tardan exactamente un día en cubrir una vuelta entera a la Tierra, debido al camino de ida y de vuelta que debe recorrer la señal. Los satélites GEO necesitan también obtener unas posiciones orbitales específicas alrededor del Ecuador para mantenerse lo suficientemente alejados unos de otros (unos 2 grados aproximadamente) para evitar posibles interferencias intersatélite. La UIT y la FCC se encargan de administrar estas posiciones.

### **2.2.2.2 Órbita Terrestre Media (MEO)**

Se encuentran a una altura de entre 10075 y 20150 Km. A diferencia de los GEO su posición relativa respecto a la Tierra no es fija. Debido a su menor altitud se necesitarán más satélites para cubrir la superficie terrestre, pero se reduce la latencia del sistema de forma significativa. En la actualidad no existen muchos MEO, y se utilizan principalmente para posicionamiento.

### **2.2.2.3 Órbita Terrestre de Baja altura (LEO).**

Los satélites encauzados en este tipo de órbitas son de tres tipos, LEO pequeños (centenares de Kbps) destinados a aplicaciones de bajo ancho de banda, LEO grandes (miles de Kbps) albergan las aplicaciones de los anteriores y otras como telefonía móvil, transmisión de datos, finalmente los LEO de banda ancha (megaLEO) que operan en la banda de Mbps entre los que se encuentre Teledesic.

### **2.2.3 Problemas de puesta en órbita.**

La puesta en órbita de satélites LEO presenta problemas tales como:

- Saturación de las órbitas: elevada cantidad de satélites ya existentes en esa zona y elevado número de proyectos de lanzamientos de satélites de este tipo.
- Chatarra espacial: dificultadas para la buena circulación debido a restos de otros satélites en la zona.
- Pérdida y sustitución de satélites: cabe la posibilidad de que estos satélites caigan en la atmósfera al terminar su vida útil y se desintegren en la misma. Además habrá que tener en cuenta una política de sustitución de este tipo de satélites pues están expuestos a múltiples peligros, incluso antes del final de su vida útil.
- Visibilidad del satélite: se debe poder seguir la pista a estos satélites que viajan a gran velocidad, luego este tipo de satélites sólo será visible 18-20 min. antes de aparecer por el horizonte.
- Problema de la antena: se resuelve utilizando una antena del tipo array en fase, que son dispositivos autodirigidos capaces de seguir el rastro

de varios satélites a la vez sin moverse físicamente, por medio de señales levemente diferentes recibidas en la antena. Con este tipo de antenas desaparece el problema de mantener un enlace activo cuando perdemos la visión del satélite manteniendo como mínimo dos satélites a la vista en todo momento, siendo la antena consciente de iniciar un nuevo enlace antes de cortar el ya existente.

- Direccionamiento mediante enlaces intersatélites: este problema se produce al direccionar la señal entre dos puntos alejados de la superficie terrestre.

## 2.2.4 Segmento espacial

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

En la figura 2.2 se muestra la órbita geoestacionaria, la cual se encuentra a 35,789 Km. de altura sobre el plano del ecuador y se considera como un recurso natural limitado.

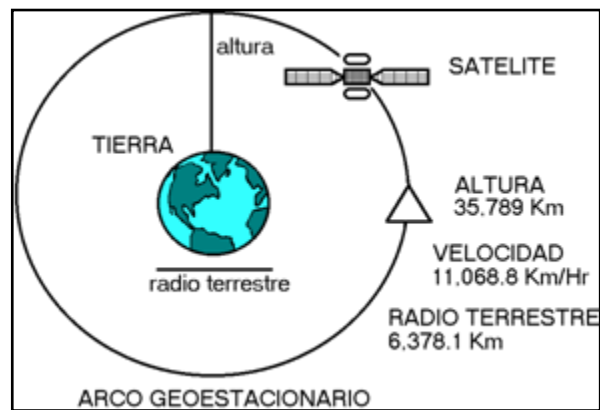


Figura 2.2 Órbita Geoestacionaria

En la figura 2.3 se muestra la disposición de tres satélites en la órbita geoestacionaria, los cuales son suficientes para cubrir toda la tierra.

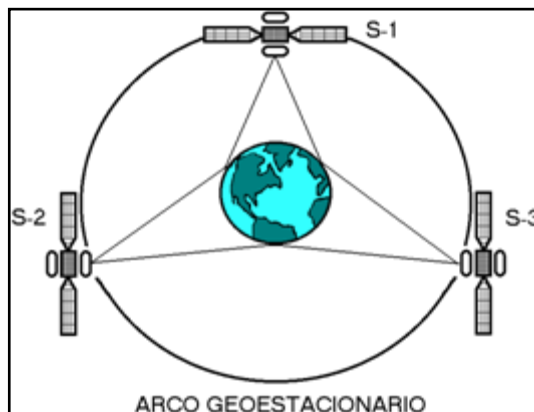


Figura 2.3 Colocación de Satélites

Debido a que la tierra gira sobre su propio eje cumpliendo una vuelta cada 24 horas, el satélite debe cumplir con cuatro características los cuales son:

- Desplazamiento en el mismo sentido que la tierra.
- Completar una vuelta cada 24 horas.
- La altura debe ser de 35,789 Km, sobre el ecuador.
- Velocidad constante de 3,075 m/s.

Estas características sólo se cumplen en la ya mencionada órbita geoestacionaria. En base a las características de propagación, la separación orbital que debe existir entre satélites que operen en la misma banda de frecuencia y sirvan en la misma zona de servicios o zonas de servicio adyacentes, se mencionan a continuación:

- En la banda C la separación es de 3 grados.
- En la banda Ku la separación es de 2 grados.
- En la banda L la separación es mayor que 26 grados.

Esto es con la finalidad de disminuir las interferencias que puedan causar por sistema de satélite adyacente.

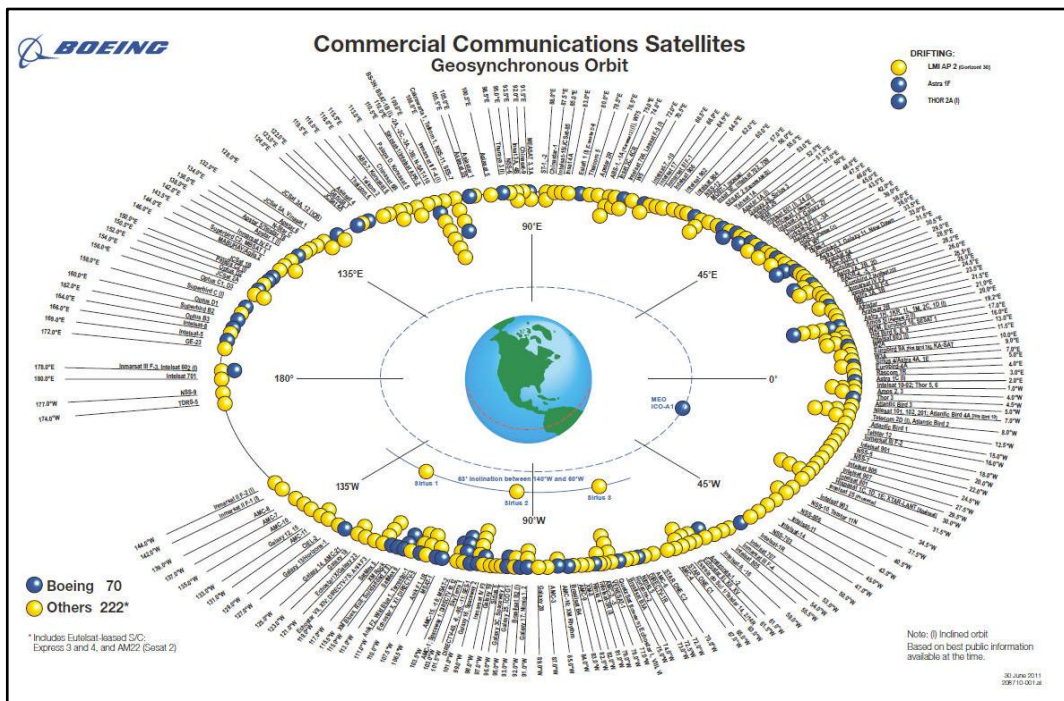


Figura 2.4 Arco Orbital Geoestacionario

### 2.2.5 Bandas de Radio Frecuencia utilizadas en la comunicación satelital.

Se han dispuesto, mundialmente, varias bandas de frecuencia para el uso comercial por satélite. La más común de estas consta de una banda central de 500 MHz centrada en 6 GHz en el enlace hacia arriba (hacia el satélite) y centrada en 4 GHz en el enlace hacia abajo (hacia la Tierra).

La banda de 500 MHz, en cada una de las frecuencias, esta normalmente dividida en 12 bandas, servidas por cada transponder, de 36 MHz de ancho de banda cada una, mas 2 MHz a ambos extremos para protección (el espaciamiento entre las bandas es el responsable del ancho de banda en exceso). Cada banda de transponder está, a su vez, dividida en un cierto número de canales de frecuencia, dependiendo del tipo de aplicación o de la señal a transmitir.

Las bandas de frecuencia usadas son:

Por razones prácticas, a las bandas de frecuencias más comunes para el servicio por satélite se les designa por fabricantes de equipos, operadores de satélites y usuarios por medio de letras empleadas originalmente para radar, aunque no son utilizadas oficialmente por la UIT. Las principales bandas para los servicios por satélite son:

<b>Banda</b>	<b>UPLINK Rango frec(GHz)</b>	<b>DOWNLINK Rango frec(GHz)</b>	<b>Uso típico</b>
L	1,530-2,700	1,530-2,700	Móvil(marítimo, terrestre y aeronáutico)
S(2-4GHZ)	2,700-3,500	2,700-3,500	Móvil/reservada
C(6/4GHz)	5,925-6,425	3,700-4,200	Fijo/DBS
X(8/7)	7,900-8,395	7,250-7,745	Militar/gubernamental
Ku(14/12)	14,000-18,100	10,700-11,700 12,500-12,750	Fijo
Ku(17/12)	17,300-18,100	11,700-12,500	DBS
Ka(30/20)	27,5-30,0	17,7-21,2	Enlaces entre satélites. Investigación.

Tabla 2.1 Las bandas de frecuencia usadas en comunicación satelital.

## 2.2.6 Partes de un satélite artificial

### 2.2.6.1 Subsistema de comunicaciones

Este permite ampliar y diversificar los servicios de comunicaciones satelitales que actualmente existen, así como optimizar el uso del segmento espacial al permitir nuevas técnicas de explotación; también permite manejar las regiones de cobertura para la comunicación de diferentes bandas, como las bandas C, Ku y L.

### 2.2.6.2 Transponder

Es un dispositivo que forma parte del satélite, el cual cuenta con varias antenas que reciben y envían señales desde y hacia la tierra, los satélites tiene transponedores verticales y horizontales. El transponder tiene como función principal amplificar la señal que recibe de la estación terrena, cambiar la frecuencia y retransmitir con una cobertura amplia a una o varias estaciones terrenas. Recoge la señal entrante de la antena receptora, ésta es amplificada por un LNA (amplificador de bajo ruido), que incrementa la señal sin admitir ruido. De la salida de LNA la señal es introducida a un filtro de pasa banda (FPB) para eliminar lo que no pertenece a la señal original y luego esta señal pasa a un convertidor de frecuencia (OSC) que reduce la señal a su frecuencia descendente, ésta pasa para su amplificación final que tiene un amplificador de potencia de estado sólido (SSPA) como amplificador de salida. Una vez concluido el proceso, la señal pasa a la antena descendente y se realiza el enlace con la estación receptora.

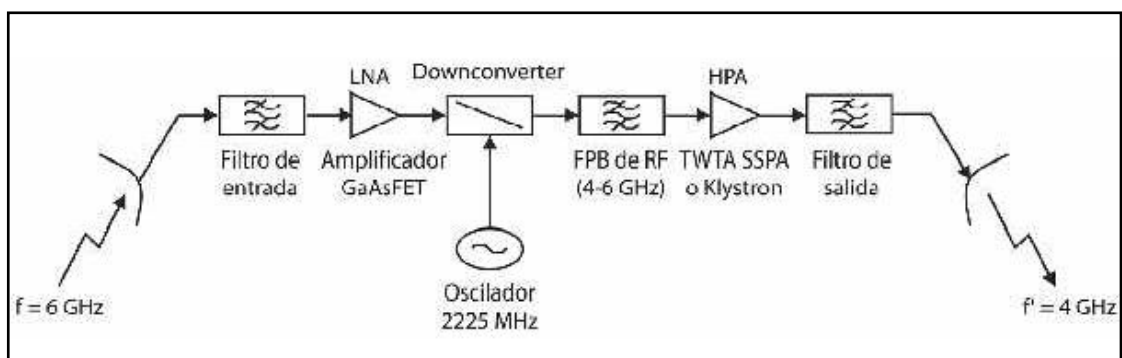


Figura 2.5 Diagrama de bloques de un transponder.

### 2.2.7 Estructura y funcionamiento de una estación terrena Transmisora/Receptora.

Las estaciones terrenas son elementos de un sistema de comunicaciones vía satélite que se encargan de transmitir y/o recibir voz, video o datos. Existen dos tipos diferentes de estaciones, las que se encargan de transmitir y/o recibir información y la que se encarga de las necesidades del control del satélite. De acuerdo a la importancia fundamental que tiene este conjunto a evolucionado de una manera integral y de manera paralela a los sistemas de transmisión de los satélites, esto obedece a que las etapas de transmisión y recepción del segmento espacial han sufrido modificaciones, ya que al haber incorporado este tipo de tecnologías de estado sólido y la gran escala de integración de los componentes para incrementar la potencia disponible en el satélite han obligado a cambiar los diseños, los tamaños y la calidad de los elementos que la conforman.

En la figura 2.6 se visualiza el diagrama de bloques general de una estación terrena, cabe destacar que ningún módulo o parte de él se indica redundante o repetido, pero en la práctica se acostumbra tener redundancia, dependiendo nuevamente de la aplicación de la estación terrena y de la importancia de la información que maneja.

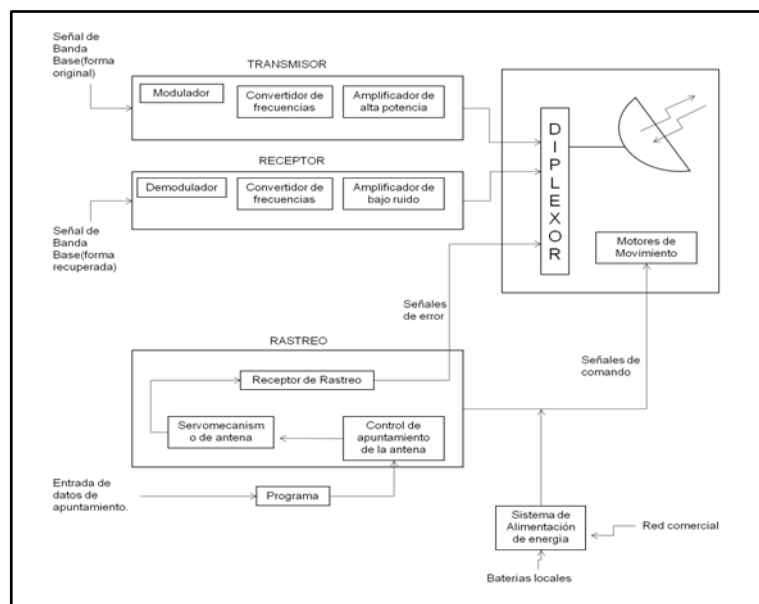


Figura 2.6 Diagrama de bloque de una estación terrena general.



Las señales que originalmente llega a la estación terrena de banda base, pasan a un modulador, posteriormente pasan a un convertidor que se encarga de elevar la frecuencia de las señales anteriores a una frecuencia de subida en el orden de los GHz, de ahí las señales pasan a un amplificador de alta potencia encargado de elevar el voltaje y la corriente a los niveles requeridos para su transmisión, luego pasa a un diplexor encargado de separar las señales, que finalmente serán llevadas a la antena para ser radiadas al satélite.

La estación terrena transmisora se caracteriza por la Potencia Isotrópica Radiada Efectiva (PIRE). Esto de hecho está relacionado con la potencia de transmisión y la ganancia de la antena en la frecuencia de transmisión.

$$PIRE = P_T G_T$$

La estación terrena transmisora se caracteriza por una figura de merito (G/T) y la frecuencia intermedia (IF) de banda ancha.

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 del sistema es determinado principalmente por la antena, el amplificador de bajo ruido (LNA) y los componentes de esos elementos. La suma de pequeñas pérdidas, tales como la atenuación del cable, entre el LNA y la antena, puede resultar una degradación significativa de la figura de merito G/T.

Durante el rastreo, en una comunicación vía satélite, se llega a detectar un error de transmisión de información, el propio satélite envía señales de error que son captadas por una antena y depositadas en la unidad de rastreo, pasando primero por el receptor de rastreo que es el encargado de recibir dichas señales y que además envía una serie de instrucciones de control al mecanismo de la antena que a través de los dispositivos de control de apuntamiento y un programa de control son capaces de genera señales de control que se descargan en los motores de movimiento de la antena, logrando que ésta se mantenga apuntada correctamente hacia el satélite.

Esta etapa de la estación terrena normalmente es para estaciones con un diámetro de antena grande como por ejemplo estaciones terrenas que cuenten con antena de 7.3m, 11.3m o más, o bien para las estaciones llamadas “Maestras” que controlan o son el punto neurológico de una red. En el caso, de las estaciones, remotas enlace punto a punto, no se acostumbra a poner el sistema de rastreo ya que el costo por estación se eleva considerablemente.

Por cuestiones de seguridad, es importante instalar un sistema de alimentación de energía que pueda conmutar entre la red comercial y el banco de baterías de la estación, esto con la finalidad de lograr el seguimiento constante del satélite.

### 2.2.8 Ángulo de elevación y ángulo de azimut de una antena satelital.

La orientación de la antena de una estación terrena hacia un satélite geoestacionario se realiza ajustando dos ángulos, el de elevación y azimut; los valores de estos ángulos dependen de la posición geográfica de la estación en latitud, longitud y de la ubicación en longitud del satélite. Tomando como referencia al eje de simetría del plano parabólico, que coincide con su eje de máxima radiación, el ángulo de elevación es aquel formado entre el piso y dicho eje de simetría dirigido al satélite, como se muestra en a figura 2.7

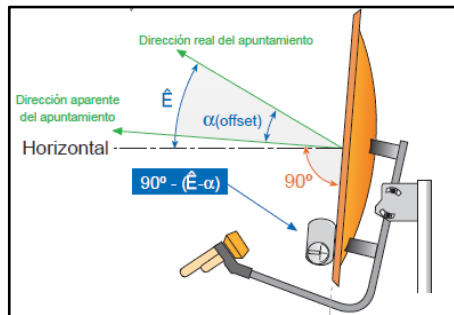


Figura 2.7 Ángulo de elevación de la antena de la estación terrena, Tx y Rx

El ángulo azimut es la cantidad de grados que hay que girar la antena en el sentido de las manecillas del reloj con relación al norte geográfico de la tierra para que ese mismo eje de simetría prolongado imaginariamente pase por la posición en longitud del satélite como se visualiza en la figura 2.8

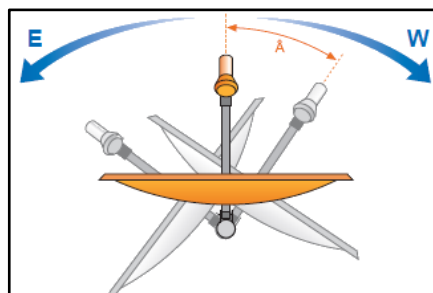


Figura 2.8 Ángulo de azimut de la antena de la estación terrena Tx y Rx.

### 2.2.9 La antena su configuración geométrica y su funcionamiento.

Una antena parabólica tiene la propiedad de reflejar las señales que llegan a ella y concentrarlas como si fuera una lente en un punto común llamado foco (modo de recepción); asimismo, si las señales provienen del foco, las refleja y las concentra en un haz muy angosto de radiación. Este foco coincide con el foco geométrico de paraboloides de revolución que representa matemáticamente a la antena y en él se coloca el alimentador, que por lo general es una antena de corneta o bocina; el tipo de alimentador define la ganancia final de la antena y las características de sus lóbulos. Hay varios tipos de alimentación para una antena parabólica, pero los tres más utilizados son los de alimentación frontal, descentrada y Cassegrain.

#### 2.2.9.1 Alimentación frontal

En una antena parabólica con alimentación frontal como se muestra en la siguiente figura 2.9, el eje del alimentador o corneta coincide con el eje de la antena, y la apertura por la que radia está orientada hacia el suelo; esto último presenta el inconveniente de que la energía radiada por el alimentador que se desperdicia por desborde, se refleja parcialmente al tocar el suelo y puede degradar la calidad de la señal transmitida.

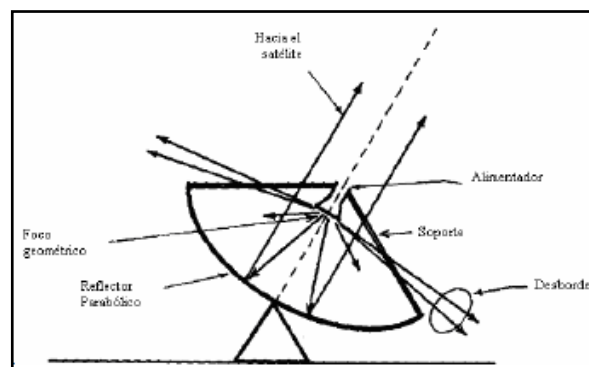


Figura 2.9 Antena parabólica con alimentación frontal  
(Modo de transmisión)

Asimismo, si la antena está recibiendo al satélite, los rayos que incidan sobre el piso cerca de la antena se reflejan hacia el alimentador, y pueden causar una

degradación en la calidad de la señal recibida al sumarse fuera de fase con los rayos directos que son reflejados por el plato parabólico

El desborde de la radiación del alimentador se puede reducir si se aumenta el diámetro de la antena o si se utiliza un alimentador de mayor directividad más complicado de fabricar y normalmente de mayores dimensiones, pero esto puede convertir a la antena en demasiado voluminosa, o bien el alimentador y su estructura de soporte bloquean mas el paso libre de la señales con la consecuente degradación de las mismas.

### 2.2.9.2 Alimentación Descentrada

El bloque del alimentador, el equipo electrónico y la estructura de soporte se puede eliminar si se utiliza una antena parabólica con alimentador descentrada como se muestra en la figura 2.10.

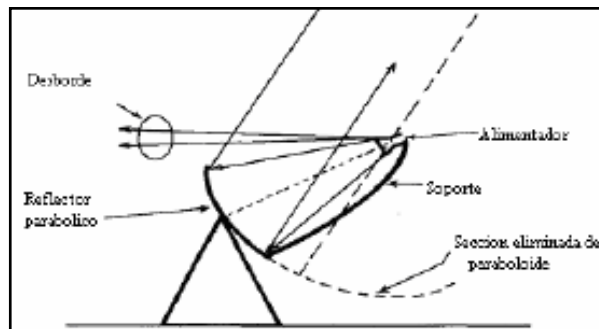


Figura 2.10 Antena parabólica con alimentación descentrada.

En este caso, sólo se emplea una sección del plato parabólico y la apertura del alimentador se gira para que apunte hacia ella; es decir, los ejes de la corneta (alimentador) y del paraboloide no coinciden, de allí el nombre de alimentador descentrado. Sin embargo, la construcción de toda la estructura reflectora y de soporte es más costosa que la de alimentación frontal, además de que no se resuelve el problema de desborde por las orillas de la superficie parabólica.

De cualquier forma, este tipo de antena se utiliza en varias estaciones receptoras y transmisoras de televisión, telefonía y datos, aunque la Cassegrain es más popular.

### 2.2.9.3 Alimentación Cassegrain

La antena Cassegrain se muestra en la figura 2.11, es mucho más eficiente que cualquiera de los dos tipos ya descritos y su ganancia es mayor, pero su precio es más elevado. Se utiliza en la mayor parte de las estaciones terrenas transmisoras y receptoras de televisión, así como de todas las que transmiten y reciben cantidades muy grandes de información.

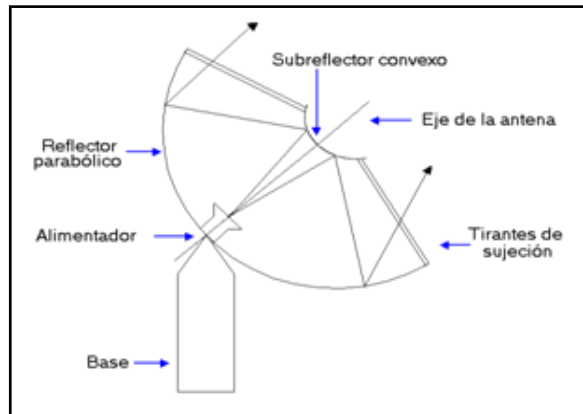


Figura 2.11 Antena parabólica Cassegrain

Su configuración geométrica involucra a un segundo reflector con superficie hiperbólica llamado “sub reflector”, y el alimentador o corneta ya no tiene su apertura orientada hacia el piso, sino hacia arriba, por lo que el ruido no se introduce en las señales ya no es generado por reflexiones en la tierra sino principalmente por emisiones de la atmósfera.

Los ejes de la parábola, el alimentador y la hipérbola coinciden, y el diseño es equivalente a tener una antena imaginaria menos cóncava y un alimentador más alejado de su vértice, de esta forma, la parábola captura mejor la energía radiada por la corneta y el desborde se reduce significativamente.

#### 2.2.9.4 Alimentación Gregoriana

La óptica Gregoriana utiliza una forma de sub reflector que incrementa la eficiencia de la antena, de este modo resulta en una alta ganancia para un diámetro de antena dado, la alta ganancia permite el uso de LNA o LNB de bajo costo, el tipo de sub reflector que se usa es cóncavo. Esta antena se muestra en la figura 2.12

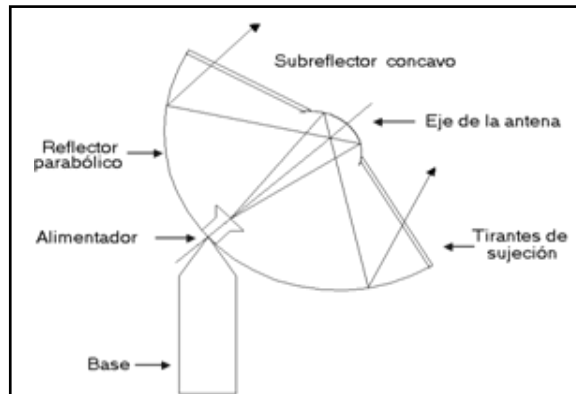


Figura 2.12 Antena gregoriana.

En realidad este tipo de antena es una variante de la tipo Cassegrain, sólo que en este caso su sub reflector que es convexo, es sustituido por uno cóncavo.

### 2.2.9.5 Cuadro comparativo entre los tipos de antenas

En la tabla 2.2 se analizan los diferentes tipos de antenas que se pueden usar en un enlace satelital para ver en forma comparativa las ventajas y desventajas que cada una presenta.

<b>TIPO DE ANTENA</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<b>FRONTAL</b>	Es económica y fácil de construir.	Es de baja calidad por la energía que se desborda.
<b>DESCENTRADO</b>	El bloqueo del alimentador y los tirantes de sujeción se eliminan. Los lóbulos laterales mejoran. Es de una sola pieza.	Su geometría es más complicada, su construcción es costosa y tiene problemas de desborde de señal.
<b>CASSEGRAIN</b>	Tiene gran eficiencia y ganancia elevada, su diseño es adecuado y tiene menos problemas por desborde de energía.	Tiene problemas por bloqueo del alimentador, sub reflector y tirantes de sujeción, su costo es elevado y su eficiencia disminuye.
<b>GREGORIANA</b>	Por la geometría del sub reflector es más eficiente y de mejor ganancia, es de bajo costo.	Sufre efectos de bloqueo por el alimentador, el sub reflector y los tirantes de sujeción del mismo.

Tabla 2.2 Ventajas y Desventajas de los tipos de antenas

Las antenas de las estaciones terrenas son una de las piezas más importantes del sistema de RF ya que proporciona el medio de la transmisión de la portadora modulada hacia el satélite dentro del espectro de frecuencia para el enlace ascendente, y por otra parte recibe también la portadora de RF proveniente del satélite dentro del espectro de frecuencias del enlace descendente.



En la tabla 2.3 se presentan las características que deben cumplir las antenas para el servicio fijo por satélite.

<b>TIPO DE ANTENA</b>	<b>DIAMETRO (mts)</b>	<b>GANANCI A (dBi)</b>	<b>G / T dB / K</b>	<b>PATRON DE RADIACION</b>	<b>POL</b>	<b>BANDA</b>
<b>FOCET (Fibra de vidrio)</b>	1.8		21.0		Lineal	Ku
<b>FOCET (Fibra de vidrio)</b>	2.4	Rx → 47.5 Tx → 49.2	13.6	CCIR 580		Ku
<b>FOCET (Fibra de vidrio)</b>	2.4		23.3		Lineal	Ku
<b>Offset (Aluminio)</b>	2.4	Rx → 47.7 Tx → 49.1		CCIR 580	Lineal	Ku
<b>Foco primario centrado</b>	3.5	Tx → 53.9	28.4	CCIR 580	Lineal	C / Ku
<b>Gregory</b>	3.7	Rx → 51..5 Tx → 52.9	27.1	580 / 465 NORMA FCC	Lineal	C / Ku
<b>Alimentador centrado</b>	3.7	Rx → 45.9 Tx → 49.4		CCIR 580	Lineal	C
Donde: Rx= Receptor TX= Transmisor CCIR 580= Norma que rige el patrón de radiación y el cruce de polarización FCC= Norma estadounidense que rige el espaciamiento entre dos satélites que operan en la Banda Ku (ancho del haz).						

Tabla 2.3 Tabla de Características de las antenas para el servicio fijo por satélite.

### 2.2.10 Polarización

Las antenas crean campos electromagnéticos radiados. Se define la polarización electromagnética en una determinada dirección, como la figura geométrica que traza el extremo del vector campo eléctrico a una cierta distancia de la antena, al variar el tiempo. La polarización puede ser lineal, circular y elíptica. La polarización lineal puede tomar distintas orientaciones (horizontal, vertical,  $+45^\circ$ ,  $-45^\circ$ ). Las polarizaciones circular o elíptica pueden ser a derechas o izquierdas (dextrógiras o levógiras), según el sentido de giro del campo (observado alejándose desde la antena).

En el marco de antenas se define un coeficiente de desacoplo por polarización. Este mide la cantidad de potencia que es capaz de recibir una antena polarizada de una forma con una longitud efectiva  $\vec{l}_{ef}$  de un campo eléctrico incidente con una determinada polarización  $\vec{E}_{in}$ . De este modo, el coeficiente de desacoplo por polarización se define como:

$$C_p = \frac{|\vec{E}_{in} \cdot \vec{l}_{ef}|}{|\vec{E}_{in}| \cdot |\vec{l}_{ef}|}$$

De esta manera, obtenemos la fracción de potencia que finalmente la antena es capaz de recibir, multiplicando la potencia incidente en la antena por este coeficiente definido anteriormente, de la forma:

$$P_{rec} = P_{in} \cdot C_p$$

En antenas de comunicaciones por satélite, es habitual que una misma antena trabaje con ambas polarizaciones ortogonales a la vez, de modo que se duplique el ancho de banda disponible para la señal en el enlace. Para ello, se coloca junto al alimentador un transductor ortomodo, que dispone de un puerto de guía ondas circular conectado a la bocina y dos puertos de guía ondas rectangulares ortogonales, cada uno de los cuales trabaja en una polarización distinta. Si, en cada uno de estos puertos, se coloca un diplexor, que separe las bandas de frecuencia de emisión y recepción, se tratará de un alimentador de cuatro puertos con el que una misma antena será capaz de emitir y recibir en ambas polarizaciones simultáneamente. En otras ocasiones, estas antenas

disponen de solo dos puertos, uno para emitir en una polarización y el otro para recibir en la polarización opuesta.

### **2.2.11 Amplificador de alta potencia**

Un Amplificador de Alta Potencia (HPA) es la etapa final de potencia que requiere de una señal portadora para ser radiada por la antena y que será conducida hasta el satélite. El HPA a su vez requiere entre otras cosas una etapa pre-amplificadora la cual genera la radiofrecuencia de excitación desde la señal de banda base pasando por la frecuencia intermedia (FI) hasta llegar a la etapa de RF así mismo conserva el ancho de banda requerido para que la portadora no interfiera a las portadoras adyacentes, también genera la frecuencia central que corresponde al transpondedor que se desea excitar en el satélite. Existen tres tipos de HPA que son: Tubo de Ondas Progresivas (TWT), amplificadores de estado sólido y la válvula de Klystron, en estos casos los sistemas de control y las fuentes de alimentación funcionan de manera semejante, sin embargo, la diferencia fundamental en que el TWT y el GaAS FET de estado sólido son controlados en su ancho de banda por el excitador; el Klystron requiere ser ajustado en su frecuencia de resonancia por un dispositivo mecánico que se ajusta en el ancho de banda y ganancia para la frecuencia portadora requerida además de la frecuencia central generada por el excitador.

Existen HPA que manejan diferentes niveles de potencia y estas potencias van desde 5 watts hasta 3kwatts, todos los componentes incluyendo los amplificadores FET, el regulador automático de voltaje, la fuente de alto voltaje, los sistemas de enfriamiento, los circuitos de protección y control son acomodados de tal manera que la persona o personas que requieran operarlo tengan fácil acceso.

En la figura 2.13 se muestran los anchos de banda típicos para una TWT, un GaAs FET y un Klystron y algunos modelos de HPA.

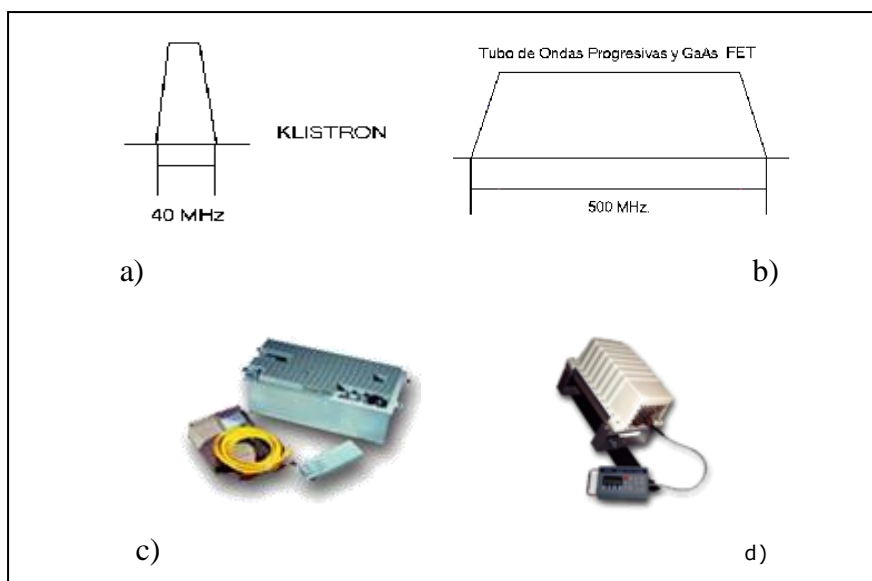


Figura 2.13 a) Anchos de banda klistron, b) Anchos de banda TWT, GaAs FEET; c) Transceiver (HPA) marca ANASAT hasta 23 Watts; d) HPA SSPA marca TGR Banda C 5 Watts

### 2.2.11.1 Tubo de ondas progresivas (TWT)

Un tubo de ondas progresivas es un amplificador de microondas de ancho de banda muy grande, que abarca todas las frecuencias utilizables del satélite (500 MHz o más en algunos casos), por lo que puede amplificar simultáneamente a señales dirigidas hacia distintos transpondedores del mismo. Sus características de operación son satisfactoriamente uniformes o constates a cualquier frecuencia, pero cuando se amplifican simultáneamente muchas señales distintas (así estén dirigidas hacia un mismo transpondedor o transpondedores separados) su potencia de salida no se puede aumentar al máximo, de hacerlo, el ruido de íter-modulación sería muy grande. Para reducir el ruido, es necesario operar al amplificador en un nivel de potencia de salida bajo, con la siguiente pérdida de nivel de potencia en relación con la potencia máxima nominal de salida (back-off).

Una de sus ventajas es que se puede efectuar cualquier modificación en la frecuencia central de amplificación dentro del ancho de banda de operación del satélite (500 MHz o más), sin tener que sintonizarlo (como en el caso del Klystron), además de que no hay que emplear un combinador especial de señales a la salida, como puede ocurrir también en los Klystron.

### **2.2.11.2 Amplificador Klystron**

Es un amplificador de banda estrecha, suficiente para manejar uno o dos canales de frecuencia.

Cuando una estación terrena tiene varios Klystron's y desea transmitir toda la información procedente de ellos a través de una misma antena, se necesita usar un combinador de señales, que introduce pérdidas de potencia similares en magnitud a las producidas por saturación en los tubos de ondas progresivas. Además de estas pérdidas, el combinador se convierte en un punto de interacción entre las salidas de los distintos Klystron's que puede conducir a interferencia entre ellos; así mismo, cuando se requiere cambiar de transponder en el satélite, es preciso volver a sintonizar al Klystron correspondiente.

De cualquier manera, varios usuarios aún eligen Klystron para sus instalaciones, por su eficiencia (40%) de aprovechamiento de energía eléctrica es mayor que la de los TWT, son muy confiables y robustos, duran mucho tiempo en servicio, y además son más económicos que un tubo de ondas progresivas. Particularmente, son empleados, para transmitir canales de televisión y en estaciones terrenas de poca potencia, también pueden transmitir cientos de canales de telefonía o de datos, pero en este último caso la potencia suficiente determina finalmente el tipo de amplificador que se use, ya que no hay Klystron en el mercado con potencias de menos de unos 400 Watts y pueden resultar muy excesivos para ciertas aplicaciones.

### **2.2.11.3 Amplificador de estado sólido**

En general un canal telefónico consume aproximadamente 1 Watt de potencia, mientras que en uno de televisión emplea 1 KW, por lo tanto, las estaciones terrenas pequeñas, que sólo tienen necesidad de transmitir algunos canales telefónicos (a veces nada más uno) o de datos de baja velocidad (de unos cuantos Kbps), no requieren contar con amplificadores tan potentes como los TWT o los Klystron. Gracias a la ganancia de su antena parabólica, y debido a que el tráfico que transmiten es bajo y ocupa poco ancho de banda, estas estaciones pequeñas que operan en SCPC usan amplificadores de baja potencia hechos con tecnología de estado sólido. Su potencia de salida es de

unos cuantos watts, y la mayor parte funciona con transistores de efecto de campo (FET).

La mayoría de los amplificadores deben estar a una temperatura de operación baja (lo más baja posible); ya que la temperatura equivalente del ruido producido por el amplificador se reduce y en, consecuencia, la eficiencia del dispositivo aumenta, pero cuando la potencia de salida aumenta a 3 KW es necesario utilizar un sistema de enfriamiento con circulación de agua, y este se puede combinar con ventilación forzada.

En la tabla 2.4 se muestra las principales características de los amplificadores de potencia (alta y baja) disponibles en el mercado.

HPA	BANDA C (5925 – 6245 MHz)		BANDA Ku (14000 – 14500 MHz)	
	ANCHO DE BANDA (MHz)	POTENCIA DE SALIDA(Watts)	ANCHO DE BANDA (MHz)	POTENCIA DE SALIDA (Watts)
<b>TWT</b>	500	50 – 4,000	500	50 – 3,000
<b>KLYSTRON</b>	40 / 80	400 – 5,000	100	1,500 – 2,000
<b>FET</b>	500	5 - 50	500	1 – 6

Tabla 2.4 Principales características usuales de los amplificadores de potencia disponibles.

Por último, es importante señalar que antes de su adquisición, las características de un amplificador de potencia se deben determinar tomando en cuenta el posible crecimiento futuro del tráfico de la estación terrena, es decir, que aún cuando en un principio el amplificador tenga que operar en un nivel por debajo de su verdadera capacidad, sea capaz de suministrar los requerimientos de potencia y ancho de banda de futuras señales adicionales que la estación deba transmitir durante los años siguientes de su vida útil.

### **2.2.12 Amplificador de bajo nivel de ruido (LNA) y (LNB)**

La antena recibe señales provenientes del satélite y a través del diplexor se las entrega a un Amplificador de Bajo Nivel de Ruido, éste funciona similar al amplificador de bajo nivel de ruido del satélite, por las mismas razones, de que a su llegada la señal tiene una intensidad muy baja y es muy vulnerable ante cualquier ruido que se le pueda añadir antes de ser amplificada a un nivel aceptable. La antena y el LNA son los elementos más importantes de una Estación Terrena receptora y juntos definen la calidad de su operación. El LNA y la antena generan ruido y su magnitud se calcula en función de una temperatura de ruido; la suma de temperatura de ruido de la antena y la propia del LNA determina casi completamente la temperatura total (T) de ruido del sistema de recepción, siempre y cuando las pérdidas producidas por los conectores sean bajas.

El valor del cociente de la Ganancia con respecto a la temperatura (G/T) es una cantidad que se utiliza comúnmente para definir las cualidades de recepción de una estación terrena; esta relación G/T se conoce como factor de calidad o cifra de merito y como la ganancia de la estación está dada en decibeles y la temperatura de ruido en grados Kelvin, su unidad es dB/°K.

La mayor parte de los LNA's son perimétricos (su circuito de microondas emplea un diodo varactor). Este diodo semiconductor tiene la capacidad de variar de acuerdo con la diferencia de voltaje que se le aplica, el circuito del amplificador se comporta como una resistencia negativa que amplifica la señal. La temperatura de ruido usual con la que operan los amplificadores actuales es del orden de unas cuantas decenas de grados Kelvin, o cuando mucho unos 250 °K.

El Convertidor de Bajo Ruido (por sus iniciales en Inglés LNB) es un receptor situado dentro de la antena parabólica, y es el que recibe las altas frecuencias del satélite, las refuerza y en una frecuencia menor y las transforma para procesarlas y enviar la señal al multiplexor.

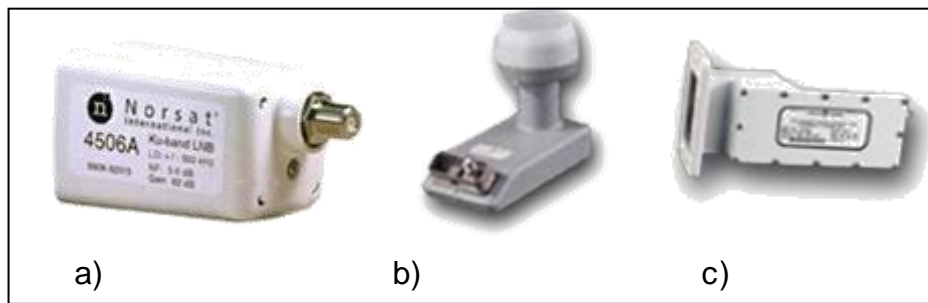


Figura 2.14 a) LNB marca NORSAT modelo 4506A Banda Ku;  
 b) LNB marca California Amplifier Banda Ku, 1.1 dB;  
 c) LNA marca California Amplifier Banda C, 40 K

### 2.2.13 Factores que influyen en la elección de frecuencias

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

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

Al mismo tiempo hay que diseñar los sistemas para que puedan atender las necesidades de su tráfico y calidad de operación. La forma en que pueden atenderse depende de los efectos del medio ambiente y de la propagación y de los niveles de ruido en las estaciones terrenales y espaciales que a su vez, dependen de la frecuencia. A continuación se enuncian algunos de los factores que influyen para la elección de las frecuencias para una transmisión:

- Absorción atmosférica. La característica de atenuación de la atmósfera normal dependen de la frecuencia y permiten que la energía pase a través de la atmósfera más fácilmente en ciertas frecuencias que en otras. La absorción atmosférica es significativa solamente en bandas



centrales a frecuencias de 22.2 GHz (vapor de agua), 60 GHz y 118 GHz (oxígeno).

- Absorción debida a hidrometeoros.- En la presencia de los hidrometeoros que son: la lluvia, granizo, nieve y niebla, la atenuación atmosférica aumenta con la frecuencia, especialmente en frecuencias superiores a 10 GHz. Un grado importante de atenuación tiene además, a aumentar la temperatura de ruido del sistema receptor de una estación terrena.
- Atenuación inducida por lluvia.- Este factor se hace más importante en el diseño de enlaces satelitales que trabajan en las bandas de frecuencia de 14/12 y de 30/20 GHz. Una predicción confiable de la atenuación debida a la lluvia es por lo tanto necesaria para el diseño de sistemas que trabajen en este rango de frecuencias, para poder determinar realmente cuál es la disponibilidad del enlace y proveer de medios para combatir los efectos de la lluvia.

En tabla 2.5 se muestran las ventajas y desventajas que tienen las frecuencias de la Banda Ku y C; con respecto a los factores que influyen en la elección de éstas.

<b>PARÁMETROS</b>	<b>BANDA Ku</b>	<b>BANDA C</b>	<b>Banda Optima</b>
Atenuación inducida por lluvia	Factor más limitativo en un enlace.	Efectos poco significativos.	C
Absorción por hidrometeoros y atmosférica	Esta es poco significativa, pero si se considera.	Sus efectos pueden despreciarse en el cálculo de enlace.	Ku / C
Potencia de transmisión al satélite	Se requiere de potencias bajas.	Potencia moderada.	Ku
Cobertura de los satélites mexicanos	A nivel nacional completa, con haces dirigidos a algunas regiones de E.U. y centro América.	Abarca toda la República Mexicana, parte de América del Sur y de los Estados Unidos.	C
Ancho de banda de los transponder	Con 57 MHz por TP en ambas polaridades.	Con 40 MHz para la polaridad horizontal y 80 MHz en la vertical, por TP.	Ku
Facilidades para Rx a nivel nacional	Esta banda tiene menos demanda en lo referido a la radio difusión por satélite.	La mayoría de las señales de TV por satélite se encuentran en esta banda.	C
Dimensiones del equipo	Por la frecuencia se pueden diseñar equipos pequeños.	La antena y los HPA's son de tamaño regular.	Ku

Tabla 2.5 Ventajas y desventajas de la Banda Ku y C.

### **2.2.14 Convertidores de frecuencia (descendente y subida)**

El parámetro indispensable que deben de cumplir ambos convertidores es el de proporcionar un muy bajo ruido de fase el cual es requerido para modulaciones realizadas en manipulación por desplazamiento de fase, así como la de asegurar una alta estabilidad en la conversión de frecuencia sin olvidar que deberán satisfacer con los puntos especificados para la transmisión de las portadoras.

Entre las características que se pueden considerar para estos convertidores es la que posean un oscilador local controlado por cristal, diseñado para ultra bajo ruido de fase, así como la de ofrecer la ventaja de contribuir con los MODEM's digitales de proporcionar una menor relación de errores de bits.

El objetivo principal de los convertidores de frecuencia es, para el caso de los convertidores ascendentes, el de elevar la frecuencia intermedia (FI) entregada por el Modem hacia RF que entregada hacia el Amplificador.

Por el contrario para los convertidores descendentes, su función es recibir la RF brindada por el amplificador de bajo ruido (LNA) y bajar la frecuencia hasta IF que será entregada al Modem.

### **2.2.15 Subsistema de banda base**

En los sistemas de transmisión, la banda base es generalmente utilizada para modular una portadora. Durante el proceso de demodulación se vuelve a regenerar la banda base original.

Por lo que la Banda Base es la señal que se obtiene antes de la modulación y de la multiplexión y después de la demultiplexión y demodulación.

Las frecuencias de la banda base se caracterizan por ser generalmente mucho más bajas en frecuencia que las resultantes cuando la señal de banda base se utiliza para modular una portadora o subportadora. La banda base esta compuesto por el codificador, el compresor, decodificador de video, audio y datos y los módem.

### 2.2.16 Módem

Es el dispositivo que convierte las señales digitales en analógicas (modulación) y viceversa (demodulación). Este aparato sirve para enviar la señal moduladora mediante otra señal llamada portadora.

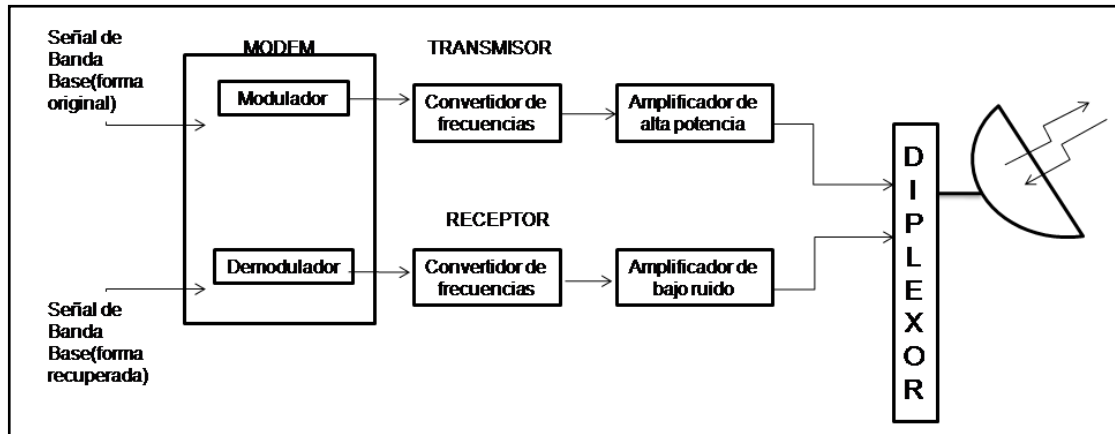


Figura 2.15 Diagrama de Modem Satelital.

### 2.2.17 Patrón de radiación de antenas satelitales (Huellas)

El área que cubre un satélite en la Tierra depende de la localización del satélite en su órbita, su frecuencia de portadora y la ganancia de su antena. Los técnicos de satélites seleccionan la antena y la frecuencia de portadora para determinado satélite, de modo que concentre la potencia limitada de transmisión en un área específica de la superficie terrestre. La representación geográfica del patrón de radiación de la antena de un satélite se llama huella, o a veces mapa de huella. En esencia, una huella de un satélite es la zona, sobre la superficie terrestre, desde donde el satélite puede recibir o hacia donde puede transmitir. La forma de la huella de un satélite depende de su trayectoria orbital, su altura y el tipo de antena que se use. Mientras más alto esté el satélite, podrá abarcar más superficie terrestre. En la Figura 2.16 se ve una huella típica de satélite. Las curvas de nivel representan límites de igual densidad de potencia recibida.

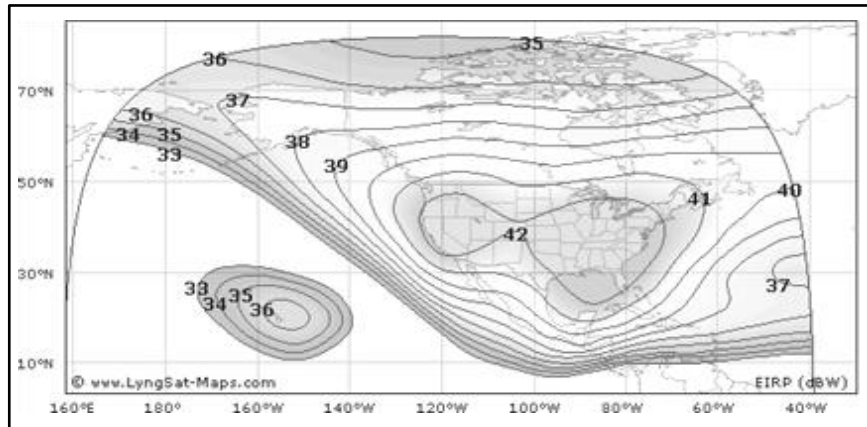


Figura 2.16 Patrones de radiación de antena de satélites (huellas)

Las antenas satelitales de enlace de bajada emiten señales en frecuencias de microondas, hacia una región geográfica seleccionada, dentro de la línea de vista del satélite. La potencia efectiva transmitida se llama potencia irradiada efectiva isotrópica (EIRP, de Effective Isotropic Radiated Power) y se expresa, en general, en dBm o dBW. Se traza un mapa de huella dibujando líneas continuas entre todos los puntos que tengan EIRP iguales. Un mapa característico de huella es, en esencia, una serie de curvas de nivel sobre un mapa geográfico de la región servida. Podría haber distintos mapas de huellas para cada haz de radiación de cada satélite de comunicaciones.

La figura de las curvas de nivel y los niveles de potencia de una huella quedan determinados por detalles precisos del diseño de la antena de enlace de bajada, al igual que por el valor de potencia de microondas generadas por cada canal de a bordo. Si bien cada transpondedor es un circuito electrónico físicamente separado, las señales de varios transpondedores se suelen enlazar de bajada a través de una misma antena. Como es de esperarse, los niveles de potencia de recepción son mayores en las áreas hacia las que apunta la mira de la antena de bajada, y más débiles fuera de esas áreas. Un plato de antena receptora cerca de la orilla del área de cobertura de un satélite debe ser mayor que los que estén en el centro o cerca del centro del mapa de huella. Son necesarias antenas de estación terrestre con diámetros extremadamente grandes para recibir emisiones satelitales en áreas geográficas a grandes distancias de la mira de la antena de enlace de bajada.

Es posible diseñar antenas satelitales de enlace de bajada que puedan difundir señales de microondas para cubrir áreas sobre la Tierra cuyo tamaño va desde ciudades extremadamente pequeñas hasta a un 42% de la superficie terrestre. El tamaño, forma y orientación de estas antenas, y la potencia generada por cada transpondedor, determinan la cobertura geográfica y los EIRP. Las distribuciones de radiación de una antena satelital se suelen caracterizar como localizados, zonales, hemisféricas o globales. Estas distribuciones de radiación se muestran en la Figura 2.17.

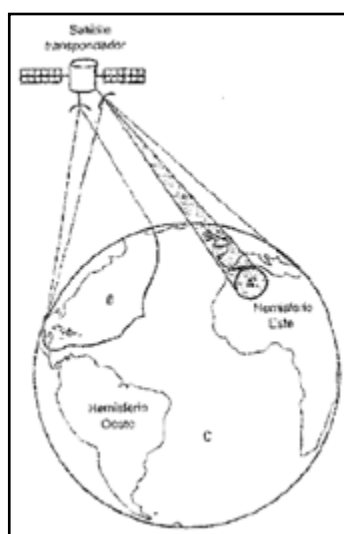


Figura 2.17 Haces: a) localizado; b) zonal; c) global

Los haces más pequeños son los haces localizados, y les siguen los haces zonales. Los localizados concentran su potencia en áreas geográficas muy pequeñas y, en consecuencia, suelen tener EIRP mayores que los que abarcan áreas mucho mayores, porque determinada potencia de salida se puede concentrar más. Los haces localizados y los zonales cubren menos del 10% de la superficie terrestre. Mientras mayor sea la frecuencia del enlace de bajada, un haz puede ser enfocado con más facilidad hacia una zona más pequeña. Cuando se llena una banda de frecuencias, se puede obtener una capacidad adicional reutilizando el espectro de frecuencias. Si se aumenta el tamaño de una antena (es decir, si se aumenta la ganancia de la antena), también se reduce su ancho de banda. Así, se pueden dirigir distintos haces de la misma frecuencia a distintas áreas geográficas de la Tierra. A esto se llama reuso de frecuencia. Otro método de reuso de frecuencia es la polarización dual. Se

transmiten distintas señales de información hacia distintos receptores en Tierra usando la misma banda de frecuencias, tan sólo con orientar sus polarizaciones electromagnéticas ortogonalmente (desfasadas 90°). La polarización dual es menos efectiva, porque la atmósfera terrestre tiene una tendencia a reorientar, o repolarizar, una onda electromagnética que pase por ella. El reuso no es más que otro modo de aumentar la capacidad de un ancho limitado de banda.

### 2.2.18 Absorción por Lluvia

La absorción o atenuación por lluvia se refiere a la absorción de una señal de RF (Radio frecuencia) por la lluvia o nieve, y prevalece en especial por arriba de los 11 GHz. También se refiere a la degradación de una señal debido a la interferencia electromagnética del borde principal del frente de una tormenta. La atenuación por lluvia o nieve tanto en el enlace de subida como en el de bajada. No necesariamente tiene que estar lloviendo en cierta localidad para que la señal se vea afectada por la atenuación por lluvia, pues dicha señal pudo haber pasado a través de lluvia o nieve a kilómetros de distancia, sobre todo si la antena satélite tiene un ángulo de elevación muy bajo.

Algunos métodos para vencer la absorción por lluvia son la diversidad de sitios, el control de potencia al enlace de subida, la codificación de tasa variable, antenas receptoras de diámetro mayor al requerido para condiciones de tiempo normales y revestimientos superhidrofóbicos contra lluvia, nieve y hielo.

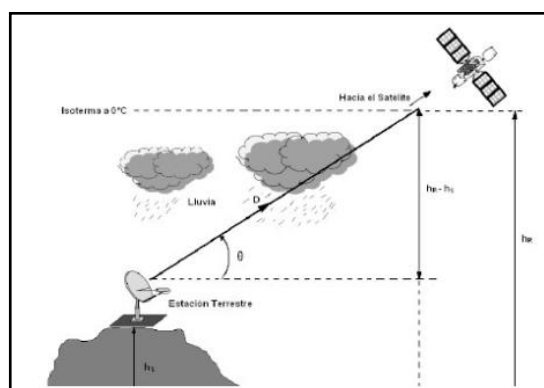


Figura 2.18 Precipitación afectando enlace satelital.

## 2.3 MARCO CONCEPTUAL

### 2.3.1 Propagación de RF para comunicación satelital.

Las frecuencias utilizadas en los sistemas satelitales se encuentran en el orden de 1 GHz a 30 GHz, la razón de utilizar este rango de frecuencias es para que las señales emitidas sean capaces de cruzar la atmósfera hacia el satélite y de regreso a la tierra. Este tipo de enlaces no requieren de una línea de vista entre la estación transmisora y la estación receptora, para poderse comunicar una estación con otra es necesario crear el enlace por medio de un satélite, de modo que el receptor sea capaz de recibir la señal del emisor.

Existen muchos fenómenos que alteran fácilmente las ondas de RF en los sistemas satelitales, es por esto que para realizar comunicaciones, ya sean satélite- tierra o tierra - satélite, las señales tienen que sortear todos los fenómenos antes mencionados generados por la tierra y la atmósfera en la propagación de señales de RF. Además existen otros efectos que dificultan las transmisiones satelitales y estos son:

- Pérdida en trayectoria por el espacio libre
- Ruido de precipitación atmosférica, producido por lluvia intensa
- La radiación solar, así como la luna como repetidor solar
- Interferencia terrestre.
- Interferencia de satélites contiguos y Canals contiguos.
- Perdida por transmisión debido a un eclipse.

#### 2.3.1.1 Pérdida en trayectoria por el espacio libre

Las pérdidas por trayectoria en el espacio libre  $L_p$ , se definen como las pérdidas que ocurren cuando una onda electromagnética es transmitida en el vacío. Pero en realidad no existe pérdida de energía al transmitir las ondas electromagnéticas, el efecto que ocurre realmente es una dispersión de la señal según se aleja del transmisor. Por eso es mejor llamar a este fenómeno pérdidas por dispersión. La siguiente ecuación muestra las pérdidas por dispersión:

$$L_p = \left( \frac{4\pi D}{\lambda} \right)^2 = \left( \frac{4\pi Df}{c} \right)^2$$

Expresando en decibeles esta ecuación se obtiene:



$$L_p(dB) = 10 \log \left( \frac{4\pi Df}{c} \right)^2 = 20 \log \frac{4\pi Df}{c}$$

Si la frecuencia se expresa en Mhz, la ecuación queda de la siguiente:

$$\begin{aligned} L_p(dB) &= 20 \log \frac{4\pi (10)^6 (10)^3}{3 \times (10)^3} + 20 \log f(MHz) + 20 \log D(Km) \\ &= 32.4 + 20 \log f(MHz) + 20 \log D(Km) \end{aligned}$$

Si la frecuencia se indica en Ghz, la ecuación queda de la siguiente manera:

$$L_p(dB) = 92.4 + 20 \log f(GHz) + 20 \log D(Km)$$

$L_p$  = Pérdidas por trayectoria en el espacio libre

$D$  = Distancia a la que viaja la señal

$f$  = Frecuencia de transmisión

$c$  = velocidad de la luz

### 2.3.1.2 Ruido de precipitación atmosférica, producido por lluvia intensa

La lluvia es un fenómeno capaz de afectar a las comunicaciones por satélite debido a que ésta actúa como una cortina entre el transmisor y el receptor. Esto sucede tanto en el enlace de subida, como en el enlace de bajada. Siempre que una señal atraviese una zona de lluvia, se generará un problema de atenuación, esto es debido a la absorción de energía de las ondas electromagnéticas por parte de las gotas de agua, la cual puede reducir considerablemente la potencia de la señal. Las gotas de agua pueden llegar a convertirse en hielo o nieve, la atenuación debida a este fenómeno se llama atenuación por hidrometeoros y aumenta con la frecuencia. El hielo ubicado en las antenas terrenas también pueden afectar la comunicación de las ondas de radio de los satélites, esto ocurre por el efecto de reflexión, ya que el hielo puede ser capaz de reflejar la señal en otra dirección que no sea el foco de la antena.

### 2.3.1.3 La radiación solar, así como la luna como repetidor solar

La radiación solar, es un gran problema en las transmisiones satelitales, esto se debe a que el sol es un gran productor de ondas de radio, las cuales producen un ruido en el enlace. Hay distintas formas en que el sol afecta las comunicaciones de radio. En la figura 2.19 se muestra como la radiación emitida por el sol afecta al enlace descendente, y ésta ocurre cuando el satélite se halla en línea recta entre el sol y la estación terrestre.

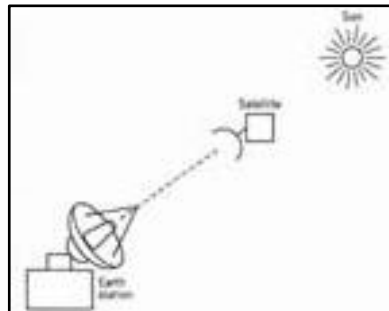


Figura 2.19 Enlace descendente afectado por la radiación solar.

Otro efecto provocado por el sol se observa en la figura 2.20 en la que se muestra un satélite que se encuentra en medio del sol y un satélite secundario. En este caso el enlace descendente se verá afectado si la antena receptora se encuentra en dirección al espacio y no a la tierra.

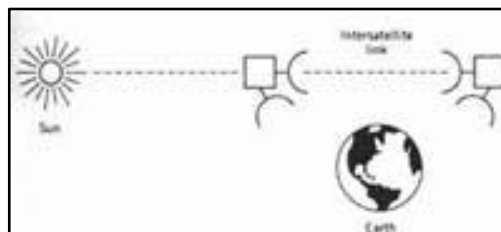


Figura 2.20 Enlace afectado por la posición de las antenas y la radiación solar.

El último caso se muestra en la figura 2.21 la cual indica que cuando el haz de la antena sale fuera de la tierra y se intercepta con la radiación solar, el enlace ascendente se verá afectado en gran cantidad por el sol.

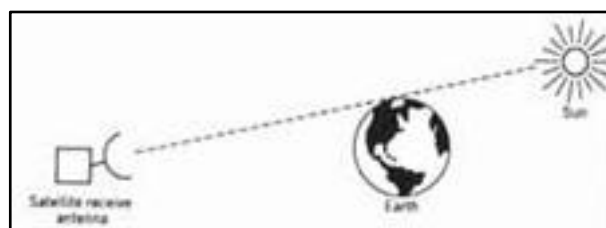


Figura 2.21 Enlace afectado por la dirección de la antena

#### **2.3.1.4 Interferencia terrestre**

La interferencia terrestre ocurre gracias a otras antenas que transmiten sobre la tierra. Pero si se eleva el ángulo de las antenas de las estaciones terrestres el riesgo de interferencia terrestre será menor.

#### **2.3.1.5 Interferencia de satélites contiguos y canales contiguos**

La interferencia de satélites contiguos ocurre cuando la antena no está perfectamente alineada con el satélite de cual queremos recibir la señal, esto genera que la señal de algún satélite que se encuentre cerca interfiera de manera grave en la señal que se quiere recibir. La interferencia de canales contiguos ocurre cuando existe una señal de interferencia en un canal contiguo.

#### **2.3.1.6 Pérdidas por transmisión debido a un eclipse**

Este tipo de fenómenos puede llegar a interrumpir la transmisión del satélite. Cuando el satélite entra en la sombra de la tierra interrumpe la fuente de energía solar a sus celdas y esto provoca una pérdida en el servicio de transmisión. Esto significa que el satélite está activo gracias a las baterías de reserva que no son capaces de dar toda la potencia de salida. Los receptores que están en el extremo del área de cobertura pueden perder la señal. El eclipse solar únicamente se produce dos veces al año, y este efecto puede echar abajo las comunicaciones varios minutos al día.

## 2.3.2 Parámetros de del sistema de satélites.

### 2.3.2.1 Pérdida por reducción

Los amplificadores de alta potencia que se usan en las estaciones transmisoras terrestres y los tubos de onda viajera que se usan en los satélites transpondedores son dispositivos no lineales; su ganancia (potencia de salida entre potencia de entrada) depende del nivel de la señal de entrada. En la Figura 2.22 se muestra una curva característica de potencia de salida en función de potencia de entrada. Se aprecia que al paso que se reduce la potencia de entrada en 4 dB, la potencia de salida sólo se reduce 1 dB. Hay una compresión de potencia obvia. Para reducir la cantidad de distorsión por intermodulación causada por la amplificación no lineal de HPA, se debe reducir la potencia de entrada en varios dB. Esto permite que el HPA funcione en una región más lineal. La cantidad de reducción de nivel de salida respecto a los niveles nominales equivale a una pérdida, y se le llama con propiedad pérdida por reducción.

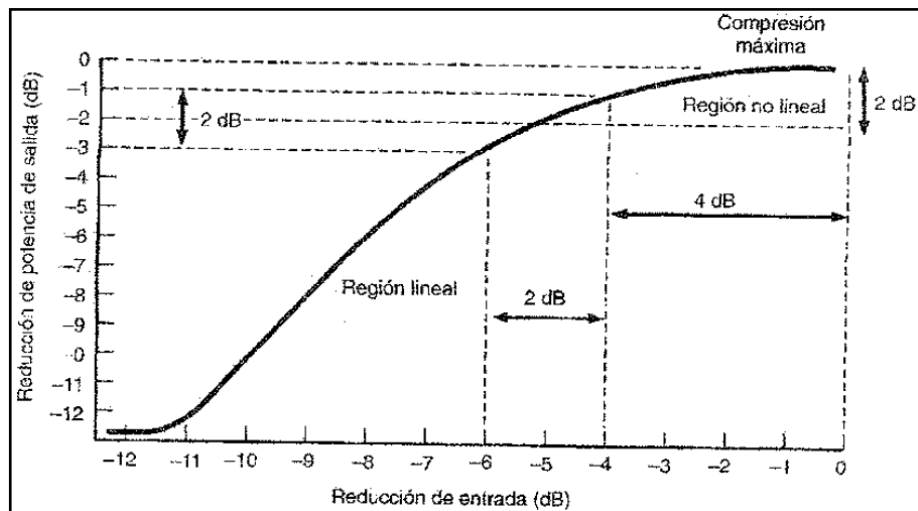


Figura 2.22 Curva característica de entrada/salida de un amplificador de alta potencia

### 2.3.2.2 Potencia de transmisión y energía de bit.

Para funcionar con la mayor eficiencia posible, un amplificador de potencia debe trabajar tan cerca como sea posible de la saturación. La potencia saturada de salida se representa por  $P_t$ . La potencia de salida de un transmisor de estación terrestre a satélite es mucho mayor que la de salida de un amplificador de potencia de transmisor terrestre de microondas. En consecuencia, cuando se manejan sistemas satelitales, la  $P_t$  se expresa generalmente, en dBW (decibelios respecto a 1 W), y no en dBm (decibelios respecto a 1 mW).

Los sistemas satelitales más modernos usan ya sea modulación por conmutación de fase (PSK) o modulación por amplitud en cuadratura (QAM), más que la modulación convencional de frecuencia (FM). En la PSK y la QAM, la banda base de entrada suele ser una señal multiplexada por división de tiempo y codificada por PCM, de naturaleza digital. También, en PSK y QAM se pueden codificar varios bits en un solo elemento de señalización de transmisión.

### 2.3.2.3 Potencia efectiva irradiada isotrópicamente (PIRE).

La potencia efectiva irradiada isotrópicamente (EIRP, de Effective Isotropic Radiated Power) se define como una potencia equivalente de transmisión que tendría que radiar una antena isotrópica para alcanzar la misma densidad de potencia en la dirección seleccionada en un punto determinado y se expresa como:

$$EIRP[dB] = P_T + G_T - L_{ET}$$

Donde:

$P_T$  = Potencia del transmisor

$G_T$  = Ganancia de la antena

$L_{ET}$  = Pérdidas en la estación terrena

#### **2.3.2.4 Temperatura equivalente de ruido.**

En los sistemas terrestres de microondas, el ruido que se introduce en un receptor o en un componente dentro de un receptor se solía especificar por el parámetro índice de ruido. En los sistemas satelitales de comunicación con frecuencia es necesario diferenciar o medir el ruido en incrementos tan pequeños como una décima o una centésima de decibel. En su forma normal, el índice de ruido es inadecuado para estos cálculos tan precisa. En consecuencia, se acostumbra usar la temperatura ambiente (T) y la temperatura equivalente de ruido (Te) al evaluar el funcionamiento de un sistema satelital. La potencia total de ruido

$$N = KTB$$

Donde:

N = Potencia total de ruido (watts)

K = constante de Boltzman (joules por kelvin)

T = temperatura del ambiente (kelvin)

B = ancho de banda (Hertz)

#### **2.3.2.5 Pérdida por trayectoria en el espacio libre (FSL).**

Son las pérdidas que sufre la señal conforme se propaga en línea recta a través del espacio sin ninguna absorción o reflexión.

$$FSL[dB] = 92.44 + 20 \log(f)_{GHz} + 20 \log(d)_{Km}$$

Donde;

f = frecuencia de operación

d = distancia

### 2.3.2.6 Relación de ganancia a temperatura equivalente de ruido.

En esencia, la relación de ganancia a temperatura equivalente de ruido,  $G/T_e$ , es una cifra de mérito que representa la calidad de un receptor de satélite o de estación terrestre. Para un receptor,  $G/T_e$ , es la relación de la ganancia de la antena receptora a la temperatura equivalente de ruido,  $T_e$ , del receptor. Debido a las potencias de portadora tan extremadamente pequeñas en recepción que hay en los sistemas satelitales, con mucha frecuencia se ubica físicamente un amplificador de bajo ruido.

### 2.3.2.7 Relación de portadoras a densidad de ruido.

La relación  $C/N_0$  es la relación de la potencia promedio de portadora de banda ancha a densidad de ruido. La potencia de portadora de banda ancha es la potencia combinada de la portadora y sus bandas laterales asociadas. La densidad de ruido es el ruido térmico presente en un ancho de banda normalizado de 1 Hz. La relación de portadora a densidad de ruido se expresa como sigue:

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)[dB] = EIRP[dBW] - FSL[dB] + G/T[dB/K] - L_m[dB] - K[dBJ/K]$$

### 2.3.2.8 Relación de energía de bit a densidad de ruido.

La relación  $E_b/N_0$  es uno de los parámetros más importantes y de uso más frecuente para evaluar un sistema digital de radio. La relación  $E_b/N_0$  es una forma cómoda para comparar sistemas digitales que usan distintas frecuencias de transmisión, esquemas de modulación o técnicas de codificación. La definición matemática es:

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)[dB] = \left(\frac{C}{N}\right) + 10 \log\left(\frac{B}{R_b}\right)$$

donde;

B = ancho de banda

$R_b$  = tasa de bits

### 2.3.2.9 Ganancia de antena.

La ganancia de la antena es un factor muy importante en cualquier tipo de comunicaciones de radio, e indispensable para el cálculo del enlace satelital. La definición de ganancia de la antena  $A_t$ , se refiere a la relación que existe entre la potencia radiada por una antena isotrópica, a una distancia y la densidad de potencia que radiaría la misma antena pero en una sola dirección, con igual cantidad de potencia entregada. La siguiente ecuación muestra como se compone la ganancia de la antena.

$$A_t = \eta \left( \frac{\pi D f}{c} \right)^2$$

$A_t$  = Ganancia de la antena (dB)

$\eta$  = Eficiencia de la antena (adimensional)

$D$  = Diámetro de la antena (metros)

$f$  = Frecuencia de transmisión (GHz)

$c$  = Velocidad de la luz ( $3 \times 10^8$  Km/m<sup>2</sup>)

### 2.3.2.10 Ancho del haz.

Existe otra manera de calcular la ganancia de la antena, esta es a través del ancho del haz. En la siguiente ecuación se obtiene el ancho del haz, el cual es el ángulo al donde la potencia del lóbulo principal disminuye a la mitad del máximo en la dirección deseada. En la Figura 2.23 se muestra el ancho del haz, también conocido como ángulo a tres decibelios, que es el ancho efectivo del lóbulo principal radiado por una antena en una dirección.

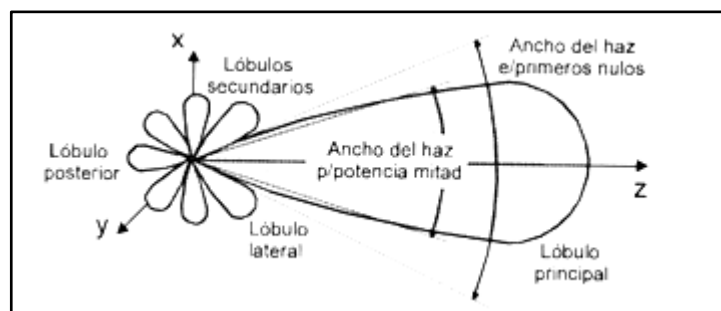


Figura 2.23 Ancho del haz

$$\theta_{3dB}(\text{grados}) = 75 \frac{\lambda}{D}$$



La siguiente ecuación muestra como se obtiene la ganancia de la antena en función del ancho del haz.

$$A_t = \frac{30.000}{(\theta_{3dB})^2}$$

$A_t$  = ganancia de la antena

$n$  = eficiencia de la antena

$D$  = diámetro de la antena

$\lambda$  = longitud de onda

$c$  = velocidad de la luz

$f$  = frecuencia del transmisor

$\theta_{3dB}$  = ancho del haz

### 2.3.2.11 Perdida por propagación.

El cálculo en el enlace de comunicaciones satelitales es necesario para determinar el balance de pérdidas y ganancias en potencia de la señal radiada. El diseño correcto de un enlace de radio asegura la recepción de la señal radiada. El diseño correcto de un enlace de radio asegura la recepción de una señal de buena calidad, evitando así el desperdicio de recursos. Es por esto que se necesitan conocer todos los aspectos que afectan a las señales de radio, desde que se transmiten hasta que se reciben. Por este motivo las pérdidas de propagación juegan un papel muy importante en el diseño de un enlace satelital. Las pérdidas por propagación en el espacio libre  $L_p$  se refieren a que la energía se reparte mientras la señal se propaga alejándose de la fuente, por lo que se produce una menor densidad de potencia a mayor distancia. La siguiente ecuación muestra las pérdidas por propagación en el espacio libre.

$$L_p(dB) = 10 \log \left( \frac{4\pi Df}{c} \right)^2 = 20 \log \frac{4\pi Df}{c}$$

### 2.3.2.12 Densidad de potencia.

Para determinar la densidad de flujo a la distancia del satélite se aplica la siguiente ecuación, tomando en cuenta que r representa el rango o la distancia del radio enlace.

$$\phi [dB/m^2] = 10 \log(P_T) + 10 \log(G_T) - 10 \log(4\pi d^2)$$

$P_T$  - potencia del transmisor (dBW)

$G_T$  = ganancia de la antena (dB)

### 2.3.2.13 Potencia en el receptor.

Para obtener la potencia en el receptor de un enlace de radio, se requiere de la ganancia de la antena receptora, esto es con el fin de que la densidad de flujo de la potencia se convierta en potencia eléctrica. La siguiente ecuación muestra la potencia en el receptor a la distancia del satélite.

$$Pr_x(dB) = 10 \log \left( \frac{P_{tx} A_{tx} A_{rx}}{4\pi r^2} \right)$$

$Pr_x$  = potencia en el receptor (dBW/m)

$P_{tx}$  = potencia de transmisión

$A_{tx}$  = ganancia de la antena transmisora

$A_{rx}$  = ganancia de la antena receptora

r = rango del radioenlace (Km)

### 2.3.2.14 Relación ganancia a temperatura equivalente de ruido con lluvia.

Otro factor que se ve afectado por la lluvia es la temperatura equivalente de ruido, por lo cual se verá afectado todo el presupuesto de enlace. La ecuación servirá para cambiar la temperatura equivalente de ruido constante de un sistema, cuando el sistema esté siendo afectado por la lluvia.

$$T_r = T_o \left( 1 - \frac{1}{L_r} \right)$$

$T_o$  = temperatura constante de 290°k

$L_r$  = pérdidas provocadas por lluvia (adimensional)

La siguiente ecuación muestra la relación de ganancia a temperatura equivalente de ruido con lluvia:

$$T_e(l) = T_{sis} - T_r$$

$$\frac{G}{T_e} \text{ lluvia} = \frac{A_{rx}}{T_e(l)}$$

Relación ganancia a temperatura equivalente de ruido con lluvia expresada en decibeles.

$$\frac{G}{T_e} \text{ lluvia}()dB = 10 \log \frac{A_{rx}}{T_e(l)}$$

### 2.3.2.15 Satélite Satmex 6

Es el satélite más grande que ha construido Space Systems Loral (SSL), pertenece a la familia FS-13000X, capaz de generar 13.7 KW (Back Off Lineal) al inicio de su vida útil con un total de 60 transpondedores de 36 MHz cada uno; 36 canales en banda C darán servicio en tres regiones (Estados Unidos, Sudamérica y la Plataforma Continental) y 24 canales en banda Ku con cobertura NAFTA y Continental, con un haz de alta potencia sobre las principales ciudades de Sudamérica incluyendo Brasil, siendo con ello el satélite con mejor cobertura en el Continente Americano. Este satélite se encuentra ubicado en la posición orbital de 109.2° Oeste.

#### 2.3.2.15.1 Especificaciones técnicas del satélite Satmex 6.

En la tabla 2.6 se mencionan las especificaciones técnicas del satélite Satmex 6, de acuerdo con la banda C y Ku.

SATELITE SATMEX 6	BANDA C 36 MHz		
	C1 CONUS	C2 Sudamérica	C3 Continental
Cobertura C	C1 CONUS	C2 Sudamérica	C3 Continental
PIRE a la orilla de la cobertura	40 dBW	39 dBW	39 dBW
Numero de transpondedor	12	12	12
G/T a la orilla de la cobertura	0.0 dB/K	-1.5 dB/K	-3.0 dB/K
Densidad de flujo en saturación a la orilla de la cobertura	98 dBW/m <sup>2</sup>	98 dBW/m <sup>2</sup>	98 dBW/m <sup>2</sup>
Redundancia	16:12	16:12	16:12
Potencia (nominal)	42 W	33 W	47 W
Rango del atenuador	0 a 15 dB en pasos de 1 dB		
Tolerancia de deriva	+0.05° N-S + 0.05° E-W		
Inicio de operación	Principios de 2003		
Vida útil estimada	15 años		
Posición orbital	109.2° Oeste		

Tabla 2.6 Especificaciones técnicas del satélite Satmex 6.

## **CAPITULO III:**

### **DISEÑO DE ENLACE SATELITAL ENTRE LA ESTACIÓN TERRENA DE VILLA EL SALVADOR Y LA ESTACIÓN REMOTA UBICADA EN IQUITOS**

El factor decisivo para estimar la calidad de la recepción que puede esperarse en una portadora dependiendo de las características de la señal, del satélite y las estaciones terrenas enlazadas, ésta es determinada por medio de un cálculo de enlace satelital.

Un enlace satelital se compone de tres segmentos principales:

- La estación terrena transmisora y el enlace ascendente (Uplink).
- El satélite.
- El enlace descendente (Downlink) y la estación terrena receptora.

El cálculo del enlace y el análisis de su resultado, consiste en la obtención de la potencia útil y la potencia de ruido interferente hallada en el receptor. Los ruidos interferentes generados en las diferentes etapas de amplificación dentro del sistema; así como las atenuaciones producidas debidos a factores técnicos y climatológicos son aspectos importantes a considerar para obtener la relación final de la portadora con respecto al ruido todo en el enlace.

Dentro del diseño de un sistema de comunicaciones vía satélite se considera los parámetros atmosféricos y meteorológicos; por lo que la atenuación de una señal se debe principalmente por los efectos ya antes mencionados:

- Por efectos negativos de las moléculas de la atmósfera sobre la señal de que atraviesa.
- La causa principal de la atenuación es por lluvia, nieve, granizo y otros.

- También se tiene atenuación en cielo despejado debida a los gases atmosféricos.

El cálculo se maneja en dos partes, primero se calcula el enlace ascendente y descendente para la estación terrena maestra ubicada en Lima en el distrito de Villa El Salvador, considerando que en este caso se transmitirá 1 portadora de 9Mbps para la comunicación con la estación terrena ubicada en la región Loreto en el distrito de Iquitos; desde Iquitos se considera la transmisión de una señal de 1Mbps entre la estación terrena remota y la maestra.

#### Estación Terrena Maestra

El cálculo se desarrolla para una portadora con modulación QPSK que es la que se utiliza para la comunicación entre la estación terrena remota y la estación terrena maestra.

### **3.1 Cálculo de enlace para la Estación terrena Transmisora**

El presente cálculo se realiza tomando en cuenta una portadora con modulada tipo de acceso SCPC que accedan desde la misma Estación Terrena (E/T) ubicada en Lima, Villa El Salvador al satélite Satmex 6.

El cálculo se divide de la siguiente manera:

Cálculo del ángulo de elevación y azimut

- Angulo de elevación y azimut de la estación terrena transmisora
- Angulo de elevación y azimut de la estación terrena receptora

Cálculo de la distancia al satélite Satmex 6

- Distancia al satélite Satmex 6 desde la estación terrena transmisora
- Distancia al satélite Satmex 6 desde la estación terrena receptora

Cálculo de la atenuación en el espacio libre

- Atenuación por espacio libre desde la E/T Tx al satélite Satmex 6.
- Atenuación por espacio libre desde la E/T Rx al satélite Satmex 6.

Cálculo de la Relación de Potadora a Ruido (C/N)

- Relación C/N del enlace ascendente
- Relación C/N del enlace descendente
- Calculo C/N total.

Cálculo de la Potencia del Amplificador de Alta Potencia.

Cálculo de las atenuaciones por lluvia

- Atenuación por lluvia en Lima, Villa El Salvador.
- Atenuación por lluvia en Loreto, Iquitos.

**Datos:**

Satélite : Satmex 6.  
Posición : 113,0 °O

**Enlace:****Transmisión desde Lima, Villa El Salvador**

Latitud : 12.21° S  
Longitud : 76.96° O  
Altitud Sobre el Nivel del Mar (ASNM) : 0.072 Km

**Recepción en Loreto, Iquitos**

Latitud : 3.75° S  
Longitud : 73.25° O  
Altitud Sobre el Nivel del Mar (ASNM) : 0.099 Km

En la tabla 2.7 se muestran las características de las antenas de las estaciones terrenas:

<b>E/T</b>	<b>Diámetro(m)</b>	<b>G<sub>Tx</sub>(dB)</b>	<b>G<sub>Rx</sub>(dB)</b>	<b>T<sub>Ruido</sub>(°K)</b>
<b>T<sub>x</sub></b>	7.3	49.70	46.00	33.00
<b>R<sub>x</sub></b>	3.8	46.20	41.80	22.00

Tabla 2.7 Características de las antenas.



En la tabla 2.8 se muestran los datos del satélite para los puntos de interés.

Frecuencia del Transponder (TP)	4KHz
Frecuencia Ascendente ( $F_{TX}$ )	6385.000 MHz
Frecuencia Descendente ( $F_{RX}$ )	4160.000 MHz
Potencia Isotrópica Radiada Efectivamente ( $PIRE_{\text{sat-u-sat}}$ )	41.00 dBW
Densidad de Flujo de Saturación del Satélite (DFS)	-98.00 dBW/m <sup>2</sup>
Figura de mérito del Satélite ( $(G/T)_{SAT}$ )	7.3 dB/°K
Atenuador de posición (ATP)	16 dB
Back – off de entrada (BOi)	8.4 dB
Back – off de salida (BOo)	4 dB
Ancho de Banda del Transponder ( $AB_{TP}$ )	36 MHz
Altura del Satélite en la órbita geoestacionaria (H)	35791 Km
Radio Medio de la Tierra ( $R_e$ )	6371 Km
Constante de Boltzmann K	$1.38 \times 10^{-23}$ J/°K
Pérdidas por absorción atmosférica y por error de apuntamiento (L')	1.5 dB
Pérdida del sistema de Guías de Onda $L_{go}$	1.3 dB

Tabla 2.8 Datos del satélite

En la tabla 2.9 se muestran las características de la portadora.

<b>Modulación</b>	QPSK
<b>FEC</b>	$\frac{3}{4}$
<b>Ancho de Banda de la portadora (<math>AB_{PORT}</math>)</b>	9.0 MHz
<b>Velocidad de Transmisión (<math>V_{TX}</math>)</b>	23.0 Mbps
<b>Tipo de Acceso</b>	SCPC

Tabla 2.9 Características de la portadora

### 3.1.1 Cálculo de Angulo de elevación y azimut.

#### 3.1.1.1 Cálculo del ángulo de elevación y azimut de la E/T transmisora ubicada en la ciudad de Lima, distrito de Villa El Salvador.

Partiendo de la ecuación:

$$E_{T/R} = \tan^{-1} \left( \frac{r - R_e \cdot \cos \theta_2 \cdot \cos |\theta_s - \theta_1|}{R_e \cdot \text{sen} [\cos^{-1} (\cos \theta_2 \cdot \cos |\theta_s - \theta_1|)]} \right) - \cos^{-1} (\cos \theta_2 \cdot \cos |\theta_s - \theta_1|)$$

Donde:

T/R : Subíndice que denota al transmisor o receptor (en todas las ecuaciones)

$\theta_s$	: Posición del satélite	= 113.0°
$\theta_1$	: Posición de la E/T	= -76.96°
$\theta_2$	: Latitud de la E/T	= -12.21°
r	: Distancia del centro de la Tierra al satélite	= 40768 Km
R <sub>e</sub>	: Radio medio de la Tierra	= 6371 km

Sustituyendo valores en (1), se tiene que:

$$E_{TX} = \tan^{-1} \left( \frac{(40768 \times 10^3) - [(6371 \times 10^3) \cdot \cos(12.21) \cdot \cos |113.0 - 76.96|]}{6371 \times 10^3 \cdot \text{sen} [\cos^{-1} (\cos(12.21) \cdot \cos |113.0 - 76.96|)]} \right) - \cos^{-1} (\cos(12.21) \cdot \cos |113.0 - 76.96|)$$

$$E_{TX} = \tan^{-1} \left( \frac{(40768 \times 10^3) - [(6371 \times 10^3) \cdot (0.9774) \cdot (0.8086)]}{6371 \times 10^3 \cdot \text{sen} [\cos^{-1} (0.9774 \cdot 0.8086)]} \right) - [\cos^{-1} (0.7903)]$$

$$E_{TX} = \tan^{-1} \left( \frac{(40768 \times 10^3) - [5035164.652]}{6371 \times 10^3 \cdot \text{sen} [37.7840]} \right) - [37.7840]$$

$$E_{TX} = \tan^{-1} \left( \frac{35732832.35}{3903424.907} \right) - [37.7840] = \tan^{-1} (9.1542) - (37.7840)$$

$$E_{TX} = 45.9818$$

Para el cálculo del ángulo de azimut para la E/T transmisora esta dado por:

$$A_{T/R} = 360 + \tan^{-1} \left( \frac{\tan(\theta_s - \theta_1)}{\text{Sen} \theta_2} \right)$$

$$A_{T/R} = 360 + \tan^{-1} \left( \frac{\tan(113 - 76.96)}{\text{Sen}(12.21)} \right) = 360 - \tan^{-1} \left( \frac{(0.7276)}{(0.2115)} \right) = 360 - 73.7918$$

$$A_{TX} = 286.21$$

### 3.1.1.2 Cálculo del ángulo de elevación y azimut de la Estación terrena receptora ubicada en la Loreto, Iquitos.

Donde:

$\theta_S$	: Posición del satélite	= 113.0 °
$\theta_1$	: Posición de la E/T	= 73.24 °
$\theta_2$	: Latitud de la E/T	= 3.75 °
$r$	: Distancia del centro de la Tierra al satélite	= 40768 Km
$R_e$	: Radio medio de la Tierra	= 6371 km

Partiendo de la ecuación (1), pero sustituyendo los nuevos valores se tiene:

$$E_{TX} = \tan^{-1} \left( \frac{(40768 \times 10^3) - [(6371 \times 10^3) \cdot \cos(3.75) \cdot \cos|113.0 - 73.24|]}{6371 \times 10^3 \cdot \text{sen}[\text{Cos}^{-1}(\cos(3.75) \cdot \cos|113.0 - 73.24|)]} \right) - \cos^{-1}(\cos(3.75) \cdot \cos|113.0 - 73.24|)$$

$$E_{TX} = \tan^{-1} \left( \frac{(40768 \times 10^3) - [(6371 \times 10^3) \cdot (0.9979) \cdot (0.7687)]}{6371 \times 10^3 \cdot \text{sen}[\cos^{-1}(0.9979 \cdot 0.7687)]} \right) - [\cos^{-1}(0.7671)]$$

$$E_{TX} = \tan^{-1} \left( \frac{(40768 \times 10^3) - [4887103.186]}{6371 \times 10^3 \cdot \text{sen}[39.9071]} \right) - [39.9072]$$

$$E_{TX} = \tan^{-1} \left( \frac{35880896.81}{4087280.691} \right) - [39.9072] = \tan^{-1}(8.7787) - (39.9072)$$

$$E_{TX} = 43.5941^\circ$$

#### Cálculo del ángulo de azimut para E/T receptora:

$$A_{RX} = 360^\circ - \tan^{-1} \left( \frac{\tan(113^\circ - 73.24^\circ)}{\text{Sen}(3.75^\circ)} \right) = 360^\circ - \tan^{-1} \left( \frac{0.8320}{0.0654} \right) = 360^\circ - 85.5055^\circ$$

$$A_{RX} = 274.4945^\circ$$

### 3.1.2 Cálculo de la distancia al satélite Satmex 6

#### 3.1.2.1 Distancia al satélite Satmex 6 desde la estación terrena transmisora

La distancia se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$d_{T/R} = \sqrt{\left[ (\text{Re} + H)^2 + \text{Re}^2 - 2\text{Re}(\text{Re} + H) \cdot \text{Sen} \left[ E_{T/R} + \text{Sen}^{-1} \left( \frac{\text{Re}}{\text{Re} + H} \right) \text{Cos} E_{T/R} \right] \right]}$$

Donde:

T/R = Subíndice que denota al transmisor o receptor

H = 35791 Km

Re = 6371 Km

E<sub>TX</sub> = 45.9818 °

$$d_{TX} = \sqrt{\left[ (6371 + 35791)^2 + (6371)^2 - 2(6371)(6371 + 35791) \cdot \text{Sen} \left[ (45.9818) + \text{Sen}^{-1} \left( \frac{6371}{6371 + 35791} \right) \cdot \text{Cos}(45.9818) \right] \right]}$$

$$d_{TX} = \sqrt{\left[ (42162)^2 + (6371)^2 - 2(6371)(42162) \cdot \text{Sen} \left[ (45.9818) + \text{Sen}^{-1} (0.1511) \cdot \text{Cos}(45.9818) \right] \right]}$$

$$d_{TX} = \sqrt{1818223885 - (537228204) \cdot \text{sen}[(45.9818) + (6.0393)]}$$

$$d_{TX} = \sqrt{1818223885 - [537228204 \cdot \text{sen}[52.0211]]}$$

$$d_{TX} = \sqrt{1818223885 - 423463376.9} = \sqrt{1394760508}$$

$$d_{TX} = 37346.4930 \text{ Km}$$

#### 3.1.2.2 Distancia al satélite Satmex 6 desde la estación terrena receptora

Partiendo de la ecuación (3), pero sustituyendo los nuevos valores, se tiene:

Donde:

H = 35791 Km

Re = 6371 Km

E<sub>RX</sub> = 43.5941 °

$$d_{RX} = \sqrt{\left[ (6371 + 35791)^2 + (6371)^2 - 2(6371)(6371 + 35791) \cdot \text{Sen} \left[ (43.5941) + \text{Sen}^{-1} \left( \frac{6371}{6371 + 35791} \right) \cdot \text{Cos}(43.5941) \right] \right]}$$

$$d_{RX} = \sqrt{\left[ (42162)^2 + (6371)^2 - 2(6371)(42162) \cdot \text{Sen} \left[ (43.5941) + \text{Sen}^{-1} (0.1511) \cdot \text{Cos}(43.5941) \right] \right]}$$

$$d_{RX} = \sqrt{(1818223885) - (537228204) \cdot \text{sen}[(43.5941) + (6.02942)]}$$

$$d_{RX} = \sqrt{1818223885 - [537228204 \cdot [0.7618]]}$$

$$d_{RX} = \sqrt{1818223885 - [409262754.6]} = \sqrt{1408961130}$$

$$d_{RX} = 37536.131 \text{ Km}$$

### 3.1.3 Cálculo de la atenuación en el espacio libre

#### 3.1.3.1 Atenuación por espacio libre desde la E/T Tx al satélite Satmex 6.

La atenuación en el espacio libre está dada por:

$$L_{R/T} = 20 \cdot \log\left(\frac{4\pi \cdot F_{TX} \cdot d_{TX}}{c}\right)$$

$L_{TX}$  : Pérdida en el espacio libre a la transmisión (ascendente)

$F_{TX}$  : Frecuencia Ascendente =6385.000 MHz

$d_{TX}$  : Distancia al satélite =37346.4930 Km

$c$  : Velocidad de la luz =  $3 \times 10^8$  m/s

Sustituyendo valores en (4), se tiene:

$$L_{TX} = 20 \cdot \log\left(\frac{4\pi \cdot (6385 \times 10^6) \cdot (37346.4930 \times 10^3)}{3 \times 10^8}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{2.9965 \times 10^{18}}{3 \times 10^8}\right)$$

$$L_{TX} = 20 \cdot \log(9988478446) = 20 \cdot (9.9995)$$

$$L_{TX} = 199.9900$$

#### 3.1.3.2 Atenuación por espacio libre desde la E/T Rx al satélite Satmex 6.

$L_{RX}$  : Pérdida en el espacio libre a la transmisión (descendente)

$F_{RX}$  : Frecuencia Ascendente =4160.000 MHz

$d_{RX}$  : Distancia al satélite =37536.1310 Km

$c$  : Velocidad de la luz =  $3 \times 10^8$  m/s

Por lo que sustituyendo los nuevos valores en (4), se tiene:

$$L_{RX} = 20 \cdot \log\left(\frac{4\pi \cdot (4160 \times 10^6) \cdot (37536.1310 \times 10^3)}{3 \times 10^8}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{1.9622 \times 10^{18}}{3 \times 10^8}\right)$$

$$L_{RX} = 20 \cdot \log(6540666667) = 20 \cdot (9.8156)$$

$$L_{RX} = 196.3120dB$$

### 3.1.4 Cálculo de la Relación de Potadora a Ruido (C/N)

#### 3.1.4.1 Relación C/N del enlace ascendente

En general la relación del (C/N) está dada por:

$$(C/N)_{TX} = DFS_{C/PORT} - \left[ 10 \cdot \log \left( \frac{4\pi(F_{TX})^2}{c^2} \right) \right] + (G/T)_{SAT} - [10 \cdot \log(K)] - [10 \cdot \log(AB_{PORT})] - BOi + ATP$$

Para los valores de cada una de las constantes, ver en la Tabla 4.2

Donde:

$DFS_{C/PORT}$  = DFS por cada portadora

$$DFS_{C/PORT} = DFS + \left[ 10 \cdot \log \left( \frac{AB_{PORT}}{AB_{TP}} \right) \right]$$

$$DFS_{C/PORT} = -98.00 + \left[ 10 \cdot \log \left( \frac{9.0 \times 10^6}{36 \times 10^6} \right) \right]$$

$$DFS_{C/PORT} = -98.00 + [10 \cdot \log(0.25)]$$

$$DFS_{C/PORT} = -104.0206 \text{ dBW} / m^2$$

$(G/T)_{SAT}$	: Figura de Mérito del Satélite	= 7.3 dBi/°K
K	: Constante de Boltzmann	= $1.38 \times 10^{-23}$ J/°K
$AB_{PORT}$	: Ancho de banda de la portadora	= 9.0 MHz
BOi	: Back-off de entrada	= 8.4 dB
ATP	: Atenuador de posición	= 16 dB
$F_{TX}$	: Frecuencia ascendente	= 6385.00 MHz

$$(C/N)_{TX} = -104.0206 - \left[ 10 \cdot \log \left( \frac{4\pi \cdot (6385 \times 10^6)^2}{(3 \times 10^8)^2} \right) \right] + 7.3 - [10 \cdot \log(1.38 \times 10^{-23})] - [10 \cdot \log(9.0 \times 10^6)] - 8.4 + 16$$

$$(C/N)_{TX} = -104.0206 - \left[ 10 \cdot \log \left( \frac{5.1231 \times 10^{20}}{(3 \times 10^8)^2} \right) \right] + 7.3 - [-228.6012] - [69.5424] - 8.4 + 16$$

$$(C/N)_{TX} = -104.0206 - [10 \cdot \log(5692.3333)] + 173.9588$$

$$(C/N)_{TX} = 37.5529 \text{ dB}$$

### 3.1.4.2 Relación C/N del enlace descendente

$$(C/N)_{RX} = PIRE_{C/PORT} - \left[ 20 \cdot \log \left( \frac{4\pi(F_{RX}) \cdot (d_{RX})}{c} \right) \right] + (G/T)_{RX} - [10 \cdot \log(K)] - [10 \cdot \log(AB_{PORT})] - BOo + L'$$

Para los valores de cada una de las constantes, ver en la Tabla 4.2

$PIRE_{C/PORT}$  = PIRE por cada portadora

$$PIRE_{C/PORT} = PIRE_{SAT} + 10 \cdot \log \left( \frac{AB_{PORT}}{AB_{TP}} \right)$$

$$PIRE_{C/PORT} = 41.00 + 10 \cdot \log \left( \frac{9.0 \times 10^6}{36 \times 10^6} \right)$$

$$PIRE_{C/PORT} = 41.00 + 10 \cdot \log(0.25)$$

$$PIRE_{C/PORT} = 34.9794 \text{ dBW} / \text{m}^2$$

$(G/T)_{RX}$  : Figura de Mérito de la E/T receptora

$$(G/T)_{RX} = G_{RX} - 10 \cdot \log(T_{RUIDO})$$

$$(G/T)_{RX} = 41.80 - 10 \cdot \log(22.00)$$

$$(G/T)_{RX} = 28.3758 \text{ dB} / \text{K}$$

$K$  : Constante de Boltzmann =  $1.38 \times 10^{-23}$  J/°K

$AB_{PORT}$  : Ancho de banda de la portadora = 9.00 MHz

$BOo$  : Back-off de salida = 4 dB

$L'$  : Pérdidas por absorción atmosférica = 1.5 dB

$F_{RX}$  : Frecuencia descendente = 4160.000 MHz

$$(C/N)_{RX} = 34.9794 - \left[ 20 \cdot \log \left( \frac{4\pi(4160 \times 10^6) \cdot (37536.131 \times 10^3)}{3 \times 10^8} \right) \right] + 28.3758 - [10 \cdot \log(1.38 \times 10^{-23})] - [10 \cdot \log(9.0 \times 10^6)] - 4 + 1.5$$

$$(C/N)_{RX} = 34.9794 - \left[ 20 \cdot \log \left( \frac{1.9622 \times 10^{18}}{3 \times 10^8} \right) \right] + 28.3758 - [10 \cdot (-22.860)] - [10 \cdot (6.9542)] - 4 + 1.5$$

$$(C/N)_{RX} = 34.9794 - [20 \cdot \log(6540785852)] + 28.3758 - [10 \cdot (-22.860)] - [10 \cdot (6.9542)] - 4 + 1.5$$

$$(C/N)_{Down} = 34.9794 - 196.3126 + 28.3758 - (-228.60) - (69.542) - 4 + 1.5$$

$$(C/N)_{Down} = 23.6006 \text{ dB}$$

### 3.1.4.3 Cálculo del C/N total:

$$(C/N)_{TOTAL} = 10 \cdot \log \left( \frac{1}{\frac{1}{\log^{-1}\left(\frac{(C/N)_{TX}}{10}\right)} + \frac{1}{\log^{-1}\left(\frac{(C/N)_{RX}}{10}\right)}}} \right)$$

$$(C/N)_{TOTAL} = 10 \cdot \log \left( \frac{1}{\frac{1}{\log^{-1}\left(\frac{32.3853}{10}\right)} + \frac{1}{\log^{-1}\left(\frac{23.6006}{10}\right)}}} \right)$$

$$(C/N)_{TOTAL} = 10 \cdot \log \left( \frac{1}{\frac{1}{1731.9287} + \frac{1}{229.118417}} \right) = 10 \cdot \log \left( \frac{1}{577.3910 \times 10^{-6} + 4364.5553 \times 10^{-6}} \right)$$

$$(C/N)_{TOTAL} = 10 \cdot \log \left( \frac{1}{4941.9463 \times 10^{-6}} \right) = 10 \cdot \log(202.3494)$$

$$(C/N)_{TOTAL} = 23.0610dB$$



### 3.1.5 Cálculo de la Potencia del Amplificador de Alta Potencia.

Partiendo de la ecuación.

$$P_{Tx/1P} = \log^{-1} \left( \frac{PIRE_{Tx/1P} - G_{Tx} + L_{go}}{10} \right)$$

Donde:

$PIRE_{Tx-1P}$  = PIRE necesario para transmitir una portadora

$G_{TX}$  = 49.70

$L_{go}$  = 1.3 (Pérdidas del sistema de guías de onda)

$$PIRE_{TX-1P} = DFS_{PORT} + L_{DIS}$$

Para el cálculo de la Densidad de Flujo de Saturación de la Portadora ( $DFS_{PORT}$ ), se realiza con la siguiente ecuación:

$$DFS_{PORT} = DFS - BOi + \left[ 10 \cdot \log \left( \frac{AB_{PORT}}{AB_{TP}} \right) \right] + ATP$$

$$DFS_{PORT} = -98.00 - 8.4 + \left[ 10 \cdot \log \left( \frac{9.0 \times 10^6}{36 \times 10^6} \right) \right] + 16$$

$$DFS_{PORT} = -98.00 - 8.4 + [10 \cdot \log(0.25)] + 16$$

$$DFS_{PORT} = -98.00 - 8.4 - 6.0206 + 16$$

$$DFS_{PORT} = -96.4206 \text{ dBW} / \text{m}^2$$

### 3.1.5.1 Cálculos de La Pérdida de Dispersión ( $L_{DIS}$ )

Se lleva a cabo por la siguiente ecuación:

$$L_{DISs} = 10 \cdot \log(4\pi \cdot d_{TX}^2)$$

$$L_{DIS} = 10 \cdot \log(4\pi(37346.4930 \times 10^3)^2)$$

$$L_{DIS} = 10 \cdot \log(1.7527 \times 10^{16})$$

$$L_{DIS} = 162.4371dB$$

Sustituyendo valores tenemos, se tiene:

$$PIRE_{TX-1P} = -96.4206 + 162.4371$$

$$PIRE_{TX-1P} = 66.0165dBW / m^2$$

Conociendo los valores de la Ganancia de la antena ( $G_{TX} = 49.70$ ) y la Pérdida en el sistema de Guía de onda ( $L_{go}$ ).

$$P_{tx-1P} = \log^{-1}\left(\frac{66.0165 - 49.70 + 1.3}{10}\right)$$

$$P_{tx-1P} = \log^{-1}\left(\frac{17.6165}{10}\right) = \log^{-1}(1.7617)$$

$$P_{tx-1P} = 57.7630W$$

### 3.1.6 Cálculo de la atenuación por lluvia

#### 3.1.6.1 Atenuación por lluvia en Lima, Villa El Salvador.

En la tabla 2.10 se muestran los datos para la transmisión al satélite desde Lima, Villa El Salvador:

<b>Frecuencia Ascendente</b>	6385,000 MHz
<b>Región de lluvia</b>	Costa
<b>% de lluvia</b>	0.01
<b>R<sub>p</sub> = Distribución puntual de lluvia</b>	0.0018 mm / h
<b>H = Altura de la isoterma a 0°C</b>	5.00 Km
<b>Ho. = Altura sobre el nivel del mar</b>	0.072 Km
<b>Ángulo de elevación</b>	45.9818°

Tabla 2.10 Valores para el cálculo de atenuación por lluvia (Lima).

Este cálculo se desarrolla mediante la ecuación de Crane.

$$Lr(dB) = k \cdot R_p^\alpha \cdot \left( \frac{e^{\mu \cdot \alpha \cdot D} - 1}{\mu \cdot \alpha} - \frac{b^\alpha \cdot e^{c \cdot \alpha \cdot d}}{c \cdot \alpha} + \frac{b^\alpha \cdot e^{c \cdot \alpha \cdot D}}{c \cdot \alpha} \right)$$

Donde las constantes  $\alpha$  y  $\beta$  son dependientes de la frecuencia y se obtienen a partir de las siguientes ecuaciones:

$$\alpha = 4.09 \times 10^{-2} \cdot f^{0.699}$$

$$\beta = 1.41 \cdot f^{-0.0779}$$

Para las constantes que se utilizarán en la ecuación se tiene lo siguiente:

$$b = 2.3 \cdot R_p^{-0.17}$$

$$c = 0.026 - [0.03 \cdot (\ln(R_p))] ]$$

$$d = 3.8 - [0.6 \cdot (\ln(R_p))] ]$$

Y para  $\mu$  se tiene la siguiente ecuación:

$$\mu = \frac{\ln(b \cdot e^{c \cdot d})}{d}$$

Por último para  $k$  se tienen las siguientes ecuaciones:

$$D = \frac{H - H_0}{\tan(E)}$$

$$L = \frac{D}{\cos(E)}$$

Donde:

$$k = \frac{L}{D}$$

Calculando:

Para un  $R_p = 0.0018$  mm/h, tomando la frecuencia de 6385.000 MHz, pero con una altura de la isoterma a  $0^\circ$   $H = 5.0$  Km y  $H_0 = 0.072$  Km

$$b = 2.3 \cdot (0.0018)^{-0.17} = 6.7349$$

$$c = 0.026 - [0.03 \cdot (\ln(0.0018))] = 0.026 + 0.1900 = 0.2160$$

$$d = 3.8 - [0.6 \cdot (\ln(0.0018))] = 3.8 + 3.7920 = 7.5920$$

Y para  $\mu$  se tiene:

$$\mu = \frac{\ln(6.7349 \cdot e^{(0.2160)(7.5920)})}{7.5920} = \frac{\ln(6.7349 \cdot e^{(1.6400)})}{7.5920} = \frac{\ln(34.7151)}{7.5920} = \frac{3.5472}{7.5920} = 0.4672$$

Para D, se tiene:

$$D = \frac{5.0 - 0.072}{\tan(45.9818^\circ)} = \frac{4.928}{1.0349} = 4.7618$$

$$L = \frac{4.7618}{\cos(45.9818^\circ)} = \frac{4.7618}{0.6949} = 6.8525$$

Por lo tanto:

$$k = \frac{6.8525}{4.7618} = 1.4391$$

Ahora calculando las constantes  $\alpha$  y  $\beta$  con una frecuencia de 6.385 GHz se tiene:

$$\alpha = 4.09 \times 10^{-2} \cdot (6.385)^{0.699} = 0.1495$$

$$\beta = 1.41 \cdot (6.385)^{-0.0779} = 1.2204$$

$$R_p^\alpha = (0.0018)^{0.1495} = 0.3887$$

$$c \cdot \alpha = (0.2160) \cdot (0.1495) = 0.03229$$

$$\mu \cdot \alpha = (0.4672) \cdot (0.1495) = 69.8464 \times 10^{-3}$$

$$b^\alpha = (6.7349)^{0.1495} = 1.33$$

$$e^{\mu \cdot \alpha \cdot D} = e^{(0.4672)(0.1495)(4.7618)} = e^{33259464 \times 10^{-3}} = 1.3946$$

$$e^{c \cdot \alpha \cdot d} = e^{(0.2160)(0.1495)(7.5920)} = e^{02451609 \times 10^{-3}} = 1.2778$$

$$e^{c \cdot \alpha \cdot D} = e^{(0.2160)(0.1495)(4.7618)} = e^{1537680 \times 10^{-3}} = 1.1662$$

$$Lr_{0.0018}(dB) = (1.4391) \cdot (0.3887) \cdot \left( \frac{1.3946 - 1}{69.8464 \times 10^{-3}} - \frac{(1.33) \cdot (1.2778)}{0.03229} + \frac{(1.33) \cdot (1.1662)}{0.03229} \right)$$

$$Lr_{0.0018}(dB) = (0.5594) \cdot (1.0528)$$

Por lo tanto para un  $R_p = 0.0018$  mm/h, la atenuación por lluvia será:

$$Lr_{0.0018}(dB) = 0.5889dB$$

### 3.1.6.2 Atenuación por lluvia en Loreto, Iquitos.

En la tabla 2.11 se muestran los datos para la transmisión desde el satélite hasta la ciudad de Iquitos:

<b>Frecuencia Descendente</b>	6385.000 MHz
<b>Región de lluvia</b>	Selva baja
<b>% de lluvia</b>	53.90
<b>Rp = Distribución puntual de lluvia</b>	0.36 mm/h
<b>H = Altura de la isoterma a 0°C</b>	5.00 Km
<b>Ho. = Altura sobre el nivel del mar</b>	0.099 Km
<b>Ángulo de elevación</b>	43.5941°

Tabla 2.11 Valores para el cálculo de atenuación por lluvia(Loreto)

Este cálculo se desarrolla de igual forma con la ecuación de Crane.

Para las constantes  $\alpha$  y  $\beta$  también se calculan con las mismas ecuaciones y procedimiento iguales.

Por lo que ahora calculando las constantes  $\alpha$  y  $\beta$  con una frecuencia de 6385,000 MHz se tiene:

$$\alpha = 4.09 \times 10^{-2} \cdot (6.385)^{0.699} = 0.1495$$

$$\beta = 1.41 \cdot (6.385)^{-0.779} = 0.3327$$

Ahora para un  $R_p = 0.36$  mm/h, con una  $H=5.00$  y  $H_0 = 0.099$

Calculando se tiene:

$$b = 2.3 \cdot (0.36)^{-0.17} = 2.7363$$

$$c = 0.026 - [0.03 \cdot (\ln(0.36))] = 0.026 + 0.0306 = 0.0566$$

$$d = 3.8 - [0.6 \cdot (\ln(0.36))] = 3.8 + 0.6130 = 4.413$$

$$\mu = \frac{\ln(2.7363 \cdot e^{(0.0566)(4.413)})}{4.4130} = \frac{\ln(2.7363 \cdot e^{(0.2498)})}{4.4130} = \frac{\ln(3.5127)}{4.4130} = \frac{1.2564}{4.4130} = 0.2847$$

$$D = \frac{5.00 - 0.099}{\tan(43.5941^\circ)} = \frac{4.9010}{0.9521} = 5.1476$$

$$L = \frac{5.1476}{\cos(43.5941^\circ)} = \frac{5.1476}{0.7242} = 7.1080$$

Por lo tanto:

$$k = \frac{7.1080}{5.1476} = 1.3808$$

Ahora calculando las constantes  $\alpha$  y  $\beta$  con una frecuencia de 6.385 GHz se tiene:

$$\alpha = 4.09 \times 10^{-2} \cdot (6.385)^{0.699} = 0.1495$$

$$\beta = 1.41 \cdot (6.385)^{-0.779} = 0.3327$$

Calculando los valores para sustituir en (9):

$$R_p^\alpha = (0.36)^{0.1495} = 0.8584$$

$$c \cdot \alpha = (0.0566) \cdot (0.1495) = 8.4617 \times 10^{-3}$$

$$\mu \cdot \alpha = (0.2847) \cdot (0.1495) = 0.04256$$

$$b^\alpha = (2.7363)^{0.1495} = 1.1624$$

$$e^{\mu \cdot \alpha \cdot D} = e^{(0.2847)(0.1495)(5.1476)} = e^{0.03275} = 1.0333$$

$$e^{c \cdot \alpha \cdot d} = e^{(0.0566)(0.1495)(4.4130)} = e^{0.03734} = 1.03805$$

$$e^{c \cdot \alpha \cdot D} = e^{(0.0566)(0.1495)(5.1476)} = e^{0.04356} = 1.0445$$

Sustituyendo los valores se tiene:

$$Lr_{0.36}(dB) = (1.3808) \cdot (0.8584) \cdot \left( \frac{1.0333 - 1}{0.04256} - \frac{(1.1624) \cdot (1.03805)}{8.4617 \times 10^{-3}} + \frac{(1.1624) \cdot (1.0445)}{8.4617 \times 10^{-3}} \right)$$

$$Lr_{0.36}(dB) = (1.1853) \cdot ((0.7824) - (142.5989) + (143.4850))$$

$$Lr_{0.36}(dB) = (1.1853) \cdot (1.6685)$$

Por lo tanto para un  $R_p = 0.36$  mm/h , la atenuación por lluvia será:

$$Lr_{0.36}(dB) = 1.978dB$$

### **3.2 Estación Terrena Remota**

El presente cálculo se realiza considerando una portadora con modulación digital QPSK de 1.0 MHz, en un tipo de acceso SCPC que accedan desde una misma E/T ubicada en la ciudad de Iquitos. Tomando como base el cálculo anterior donde se calcularon los ángulos de elevación y azimut, y la distancia al satélite; este cálculo se divide de la siguiente manera.

Cálculo de la atenuación en el espacio libre

- Atenuación por espacio libre desde la E/T Tx Iquitos al satélite Satmex 6.
- Atenuación por espacio libre desde el satélite Satmex 6 a la E/T Rx.

Cálculo del C/N

- C/N descendente
- C/N ascendente
- C/N total

Cálculo del HPA

Cálculo de las atenuaciones por lluvia

- En Iquitos, Loreto.
- En Villa El Salvador, Lima.



**Datos:**

Satélite : Satmex 6  
Posición : 113.0 °O

**Enlace:****Transmisión desde Iquitos, Loreto.**

Latitud : 3.75° S  
Longitud : 73.25° O  
Altitud Sobre el Nivel del Mar (ASNM) : 0.099 km

**Recepción en Villa El Salvador**

Latitud : 12.21 ° S  
Longitud : 76.96° O  
Altitud Sobre el Nivel del Mar (ASNM) : 0.072 km

En la tabla 2.12 se muestran las características de las antenas de las estaciones terrenas

<b>E/T</b>	<b>Diámetro (m)</b>	<b>G<sub>Tx</sub> (dB)</b>	<b>G<sub>Rx</sub> (dB)</b>	<b>T<sub>Ruido</sub> (°K)</b>
<b>T<sub>x</sub></b>	3.8	46.20	41.80	22.00
<b>R<sub>x</sub></b>	7.3	49.70	46.00	33.00

Tabla 2.12 Características de las antenas.

En la tabla 2.13 se muestran los datos del satélite para los puntos de interés.

<b>Frecuencia del Transponder (TP)</b>	4KHz
<b>Frecuencia Ascendente (F<sub>TX</sub>)</b>	4160 MHz
<b>Frecuencia Descendente (F<sub>RX</sub>)</b>	6385 MHz
<b>Potencia Isotrópica Radiada Efectivamente (PIRE<sub>satú-sat</sub>)</b>	41.00 dB <sub>m</sub>
<b>Densidad de Flujo de Saturación del Satélite (DFS)</b>	-98.00 dBW/m <sup>2</sup>
<b>Figura de mérito del Satélite (G/T)<sub>SAT</sub></b>	7.3 dBi/°K
<b>Atenuador de posición (ATP)</b>	16 dB
<b>Back – off de entrada (BOi)</b>	8.4 dB
<b>Back – off de salida (BOo)</b>	4 dB
<b>Ancho de Banda del Transponder (AB<sub>TP</sub>)</b>	36 MHz
<b>Altura del Satélite en la órbita geoestacionaria (H)</b>	35791 Km
<b>Radio Medio de la Tierra (Re)</b>	6371 Km
<b>Constante de Boltzmann K</b>	1.38X10 <sup>-23</sup> J/°K
<b>Pérdidas por absorción atmosférica y por error de apuntamiento (L')</b>	1.5 dB
<b>Pérdida del sistema de Guías de Onda L<sub>go</sub></b>	1.3 dB

Tabla 2.13 Datos del satélite para los puntos de interés

En la tabla 2.14 se muestran las características de la portadora de video

<b>Modulación</b>	QPSK
<b>FEC</b>	$\frac{3}{4}$
<b>Ancho de Banda de la portadora (<math>AB_{PORT}</math>)</b>	1.0 MHz
<b>Velocidad de Transmisión (<math>V_{TX}</math>)</b>	3.0 Mbps
<b>Tipo de Acceso</b>	SCPC

Tabla 2.14 Características de la portadora

### 3.2.1 Cálculo de la atenuación en el espacio libre

#### 3.2.1.1 Atenuación por espacio libre desde E/T Tx Iquitos al satélite Satmex 6.

$L_{TX}$	: Pérdidas en el espacio libre a la transmisión (ascendente)	
$F_{RX}$	: Frecuencia Ascendente	=4160 MHz
$d_{RX}$	: Distancia al satélite	=37536.131 Km
$c$	: Velocidad de la luz	= $3 \times 10^8$ m/s

Por lo que sustituyendo los nuevos valores en (4), se tiene:

$$L_{TX} = 20 \cdot \log\left(\frac{4\pi \cdot (4160 \times 10^6) \cdot (37536.131 \times 10^3)}{3 \times 10^8}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{1.9622 \times 10^{18}}{3 \times 10^8}\right)$$

$$L_{TX} = 20 \cdot \log(6540.8087 \times 10^6) = 20 \cdot (9.8156)$$

$$L_{TX} = 196.3126dB$$

#### 3.2.1.2 Atenuación por espacio libre desde el satélite Satmex 6 a la E/T Rx.

$L_{RX}$	: Pérdidas en el espacio libre a la transmisión (descendente)	
$F_{RX}$	: Frecuencia Descendente	=6385 MHz
$D_{RX}$	: Distancia al satélite	=37346.493 Km
$c$	: Velocidad de la luz	= $3 \times 10^8$ m/s

Sustituyendo valores en (4), se tiene:

$$L_{RX} = 20 \cdot \log\left(\frac{4\pi \cdot (6385 \times 10^6) \cdot (37346.493 \times 10^3)}{3 \times 10^8}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{2.9965 \times 10^{18}}{3 \times 10^8}\right)$$

$$L_{RX} = 20 \cdot \log(9988.4784 \times 10^6) = 20 \cdot (9.9995)$$

$$L_{RX} = 200dB$$

### 3.2.2 Cálculo del C/N

#### 3.2.2.1 Cálculo de relación portadora a ruido C/N Descendente

$$(C/N)_{RX} = DFS_{PORT-VIDEO} - \left[ 10 \cdot \log \left( \frac{4\pi(F_{RX}^2)}{c^2} \right) \right] + (G/T)_{SAT} - [10 \cdot \log(K)] - [10 \cdot \log(AB_{PORT})] - BOi + ATP$$

Donde:

$DFS_{C/PORT}$  = DFS por cada portadora

$$DFS_{C/PORT} = DFS + \left[ 10 \cdot \log \left( \frac{AB_{PORT}}{AB_{TP}} \right) \right]$$

$$DFS_{C/PORT} = -98.00 + \left[ 10 \cdot \log \left( \frac{1.0 \times 10^6}{36 \times 10^6} \right) \right]$$

$$DFS_{C/PORT} = -98.00 + [10 \cdot \log(0.02778)]$$

$$DFS_{C/PORT} = -113.5627 \text{ dBW} / \text{m}^2$$

$(G/T)_{SAT}$ : Figura de Mérito del Satélite = 7.30 dBi/°K

$K$ : Constante de Boltzmann =  $1.38 \times 10^{-23}$  J/°K

$AB_{PORT}$ : Ancho de banda de la portadora = 1.0 MHz

$BOi$ : Back-off de entrada = 8.4 dB

$ATP$ : Atenuador de posición = 16 dB

$F_{TX}$ : Frecuencia ascendente = 4160 MHz

Por lo que sustituyendo valores, se tiene:

$$(C/N)_{RX} = -113.5627 - \left[ 10 \cdot \log \left( \frac{4\pi \cdot (6385 \times 10^6)^2}{(3 \times 10^8)^2} \right) \right] + 7.3 - [10 \cdot \log(1.38 \times 10^{-23})] - [10 \cdot \log(1.0 \times 10^6)] - 8.4 + 16$$

$$(C/N)_{RX} = -113.5627 - \left[ 10 \cdot \log \left( \frac{5.1231 \times 10^{20}}{(3 \times 10^8)^2} \right) \right] + 7.3 - [10 \cdot \log(1.38 \times 10^{-23})] - [10 \cdot \log(1.0 \times 10^6)] - 8.4 + 16$$

$$(C/N)_{RX} = -113.5627 - [10 \cdot \log(5692.3333)] + 7.30 - [10 \cdot (-22.8601)] - [10 \cdot (4.58433)] - 8.4 + 16$$

$$(C/N)_{RX} = -113.5627 - 37.5529 + 7.30 - (-228.601) - 60 - 8.4 + 16$$

$$(C/N)_{RX} = 32.3854 \text{ dB}$$

### 3.2.2.2 Cálculo de relación portadora a ruido C/N ascendente

$$(C/N)_{TX} = PIRE - \left[ 20 \cdot \log \left( \frac{4\pi(F_{TX}) \cdot (d_{TX})}{c} \right) \right] + (G/T)_{TX} - [10 \cdot \log(K)] - [10 \cdot \log(AB_{PORT})] - BO_o + L'$$

$$PIRE = PIRE_{SAT} + 10 \cdot \log \left( \frac{AB_{PORT}}{AB_{TP}} \right)$$

$$PIRE = 41.00 + 10 \cdot \log \left( \frac{1.0 \times 10^6}{36 \times 10^6} \right)$$

$$PIRE = 41.00 + 10 \cdot \log(0.02778)$$

$$PIRE = 25.4373 dBW / m^2$$

$(G/T)_{RX}$  : Figura de Mérito de la E/T transmisora

$$(G/T)_{RX} = G_{RX} + 10 \cdot \log(T)$$

$$(G/T)_{RX} = 41.80 - 10 \cdot \log(22)$$

$$(G/T)_{RX} = 28.3758 dB / K$$

$K$  : Constante de Boltzmann =  $1.38 \times 10^{-23}$  J/°K

$AB_{PORT}$  : Ancho de banda de la portadora = 1.0 MHz

$BO_o$  : Back-off de salida = 4 dB

$L'$  : Pérdidas por absorción atmosférica = 1.5 dB

$FT_X$  : Frecuencia ascendente = 4160 MHz

Sustituyendo valores, se tiene:

$$(C/N)_{TX} = 25.4373 - \left[ 20 \cdot \log \left( \frac{4\pi(4160 \times 10^6) \cdot (37536.131 \times 10^3)}{3 \times 10^8} \right) \right] + 28.3758 - [10 \cdot \log(1.38 \times 10^{-23})] - [10 \cdot \log(1.0 \times 10^3)] - 4 + 1.5$$

$$(C/N)_{TX} = 25.4373 - \left[ 20 \cdot \log \left( \frac{1.9622 \times 10^{18}}{3 \times 10^8} \right) \right] + 28.3758 - [(-228.6012)] - [10 \cdot (3)] - 4 + 1.5$$

$$(C/N)_{TX} = 25.4373 - [20 \cdot \log(6.5407 \times 10^9)] + 28.3758 - [(-228.6012)] - [30] - 4 + 1.5$$

$$(C/N)_{TX} = 25.4373 - 196.3124 + 28.3758 - (-228.6012) - (30) - 4 + 1.5$$

$$(C/N)_{TX} = 53.6019 dB$$

### 3.2.2.3 Cálculo del C/N total

$$(C/N)_{TOTAL} = 10 \cdot \log \left( \frac{1}{\frac{1}{\log^{-1}\left(\frac{(C/N)_{TX}}{10}\right)} + \frac{1}{\log^{-1}\left(\frac{(C/N)_{RX}}{10}\right)}}} \right)$$

Sustituyendo valores, se tiene:

$$(C/N)_{TOTAL} = 10 \cdot \log \left( \frac{1}{\frac{1}{\log^{-1}\left(\frac{53.6019}{10}\right)} + \frac{1}{\log^{-1}\left(\frac{32.3854}{10}\right)}}} \right)$$

$$(C/N)_{TOTAL} = 10 \cdot \log \left( \frac{1}{\frac{1}{229187.0106} + \frac{1}{1731.9685}} \right) = 10 \cdot \log \left( \frac{1}{5.8174 \times 10^{-4}} \right)$$

$$(C/N)_{TOTAL} = 10 \cdot \log(1718.9782)$$

$$(C/N)_{TOTAL} = 32.3527 dB$$

### 3.2.3 Cálculo del Amplificador de Alta Potencia (HPA)

$$P_{TX} = \log^{-1}\left(\frac{PIRE_{TX-1P} - G_{TX} + L_{go}}{10}\right)$$

Donde:

$PIRE_{TX-1P}$  : PIRE necesario para transmitir una portadora

$L_{DISP}$  : Pérdidas por dispersión

Dada por la siguiente ecuación:

$$PIRE_{TX-1P} = DFS_{PORT} + L_{DIS}$$

$$DFS_{PORT} = DFS - BOi + \left(10 \cdot \log\left[\frac{AB_{PORT-VIDEO}}{AB_{TP}}\right]\right) + ATP$$

$$DFS_{PORT} = -98.00 - 8.4 + \left(10 \cdot \log\left[\frac{1.0 \times 10^6}{36 \times 10^6}\right]\right) + 16$$

$$DFS_{PORT} = -98.00 - 8.4 + (10 \cdot \log(0.02778)) + 16$$

$$DFS_{PORT} = -106.4 + (-15.5627) + 16$$

$$DFS_{PORT} = -105.9627 \text{ dBW} / m^2$$

$$L_{DIS} = 10 \cdot \log(4 \cdot \pi \cdot (d_{tx})^2)$$

$$L_{DIS} = 10 \cdot \log(4 \cdot \pi \cdot (37536.131 \times 10^3)^2)$$

$$L_{DIS} = 10 \cdot \log(4 \cdot \pi \cdot (1.4090 \times 10^{15}))$$

$$L_{DIS} = 10 \cdot \log(1.7710 \times 10^{16})$$

$$L_{DIS} = 162.4810 \text{ dB}$$

Sustituyendo valores tenemos:

$$PIRE_{TX-1P} = -105.9627 + 162.4810 = 56.5183$$

Conociendo los valores de:

$$G_{tx} = 46.20 \text{ [dB]}$$

$$L_{go} \approx 1.3 \text{ [dB]}$$

La potencia para una portadora será:

$$P_{TX} = \log^{-1}\left(\frac{56.5183 - 46.20 + 1.3}{10}\right)$$

$$P_{TX} = 14.5154 \text{ W}$$



### 3.2.4 Cálculo de la atenuación por lluvia

Ahora consideremos casos en los que se sufran atenuaciones debidas a la lluvia para observar en qué cantidad nos afecta a la potencia en Watts al momento de transmitir y así estimar la potencia total del HPA para superar dicha atenuación.

Para el cálculo de la atenuación por lluvia nos basaremos en el modelo de Crane, este cálculo se desarrolla en la misma manera que en el caso de la estación terrena maestra considerando los cambios de valores necesarios:

Este cálculo se desarrollará mediante el modelo de Crane.

#### 3.2.4.1 Calculo de la atenuación por lluvias en Iquitos, Loreto.

El cuadro muestra en la tabla 2.15 los datos para la transmisión desde el de Iquitos hasta satélite:

<b>Frecuencia ascendente</b>	4160.000 MHz
<b>Región de lluvia</b>	Selva baja
<b>% de lluvia</b>	53.90
<b>Rp = Distribución puntual de lluvia</b>	0.36 mm/h
<b>H = Altura de la isoterma a 0°C</b>	5.00 Km
<b>Ho. = Altura sobre el nivel del mar</b>	0.099 Km
<b>Angulo de elevación</b>	43.5941°

Tabla 2.15 Valores para el cálculo de atenuación por lluvia

Este cálculo se desarrolla de igual forma con la ecuación de Crane

Para las constantes  $\alpha$  y  $\beta$  también se calculan con las mismas ecuaciones y procedimiento iguales.

Por lo que ahora calculando las constantes  $\alpha$  y  $\beta$  con una frecuencia de 4160,000 MHz se tiene:

$$\alpha = 4.09 \times 10^{-2} \cdot (4.160)^{0.699} = 0.1108$$

$$\beta = 1.41 \cdot (4.160)^{-0.0779} = 1.2618$$

Ahora para un  $R_p = 0.36$  mm/h, tomando la frecuencia de 4160.000 MHz con una  $H=5.00$  Km y  $H_0=0.099$  Km

$$b = 2.3 \cdot (0.36)^{-0.17} = 2.7363$$

$$c = 0.026 - [0.03 \cdot (\ln(0.36))] = 0.026 + 0.03065 = 0.05665$$

$$d = 3.8 - [0.6 \cdot (\ln(0.36))] = 3.8 + 0.6130 = 4.4130$$

Y para  $\mu$  se tiene:

$$\mu = \frac{\ln(2.7363 \cdot e^{(0.05665)(4.4130)})}{4.4130} = \frac{\ln(2.7363 \cdot e^{(0.250)})}{4.4130} = \frac{\ln(3.5135)}{4.4130} = 0.2848$$

$$\mu = 0.2848$$

Para D, se tiene:

$$D = \frac{5.00 - 0.099}{\tan(43.5941)} = \frac{4.901}{0.9521} = 5.1476$$

$$L = \frac{5.1476}{\cos(43.5941^\circ)} = \frac{5.1476}{0.7242} = 7.1080$$

Por lo tanto:

$$k = \frac{7.1080}{5.1476} = 1.3808$$

Calculando los valores para sustituir en (9):

$$R_p^\alpha = (0.36)^{0.1108} = 0.8930$$

$$c \cdot \alpha = (0.05665) \cdot (0.1108) = 0.006277$$

$$\mu \cdot \alpha = (0.2848) \cdot (0.1108) = 0.03156$$

$$b^\alpha = (2.7363)^{0.1108} = 1.1180$$

$$e^{\mu\alpha D} = e^{(0.2848)(0.1108)(5.1476)} = e^{0.1624} = 1.1763$$

$$e^{c\alpha d} = e^{(0.05665)(0.1108)(4.4130)} = e^{0.02770} = 1.02810$$

$$e^{c\alpha D} = e^{(0.05665)(0.1108)(5.1476)} = e^{0.03231} = 1.03284$$

Sustituyendo los valores, se tiene:

$$Lr_{0.36}(dB) = (1.3808) \cdot (0.8930) \cdot \left( \frac{1.1763 - 1}{0.03156} - \frac{(1.1180) \cdot (1.02810)}{0.006277} + \frac{(1.1180) \cdot (1.03284)}{0.006277} \right)$$

$$Lr_{0.36}(dB) = (1.2331) \cdot ((5.5862) - (183.1155) + (183.9597))$$

$$Lr_{0.36}(dB) = (1.2331) \cdot (6.4304) = 7.9293$$

Por lo tanto para un  $R_p = 0.36$  mm/h , la atenuación por lluvia será:

$$Lr_{0.36}(dB) = 7.9293dB$$

### 3.2.4.2 Cálculo de la atenuación por lluvias en Villa El Salvador, Lima.

En el cuadro se muestra en la tabla 2.16 los datos para la transmisión desde el satélite hasta Villa el Salvador, Lima:

<b>Frecuencia Ascendente</b>	6385,000 MHz
<b>Región de lluvia</b>	Costa
<b>% de lluvia</b>	0.01
<b>Rp = Distribución puntual de lluvia</b>	0.0018 mm / h
<b>H = Altura de la isoterma a 0°C</b>	5.00 Km
<b>Ho. = Altura sobre el nivel del mar</b>	0.072 Km
<b>Ángulo de elevación</b>	45.9818°

Tabla 2.16 Valores para el cálculo de atenuación por lluvia

Este cálculo se desarrolla mediante la ecuación de Crane.

$$Lr(dB) = k \cdot R_p^\alpha \cdot \left( \frac{e^{\mu \cdot \alpha \cdot D} - 1}{\mu \cdot \alpha} - \frac{b^\alpha \cdot e^{c \cdot \alpha \cdot d}}{c \cdot \alpha} + \frac{b^\alpha \cdot e^{c \cdot \alpha \cdot D}}{c \cdot \alpha} \right)$$

Donde las constantes  $\alpha$  y  $\beta$  son dependientes de la frecuencia y se obtienen a partir de las siguientes ecuaciones.

$$\alpha = 4.09 \times 10^{-2} \cdot f^{0.699}$$

$$\beta = 1.41 \cdot f^{-0.0779}$$

$$b = 2.3 \cdot R_p^{-0.17}$$

$$c = 0.026 - [0.03 \cdot (\ln(R_p))] ]$$

$$d = 3.8 - [0.6 \cdot (\ln(R_p))] ]$$

Y para  $\mu$  se tiene la siguiente ecuación:

$$\mu = \frac{\ln(b \cdot e^{c \cdot d})}{d}$$

Por último para  $k$  se tienen las siguientes ecuaciones:

$$D = \frac{H - H_0}{\tan(E)}$$

$$L = \frac{D}{\cos(E)}$$

Donde:

$$k = \frac{L}{D}$$

Ahora para un  $R_p = 0.0018$  mm/h, tomando la frecuencia de 6,385 GHz, pero con una altura de la isoterma a  $0^\circ$   $H = 5.00$  Km y  $H_0 = 0.072$  Km

$$b = 2.3 \cdot (0.0018)^{-0.17} = 6.7349$$

$$c = 0.026 - [0.03 \cdot (\ln(0.0018))] = 0.026 + 0.1896 = 0.2156$$

$$d = 3.8 - [0.6 \cdot (\ln(0.0018))] = 3.8 + 3.7920 = 7.5920$$

Y para  $\mu$  se tiene:

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{\ln(6.7349 \cdot e^{(0.2156)(7.5920)})}{7.5920} = \frac{\ln(6.7349 \cdot e^{(1.6368)})}{7.5920} = \frac{\ln(6.7349 \cdot 5.1390)}{7.5920} \\ &= \frac{\ln(34.6110)}{7.5920} = \frac{3.5442}{7.5920} = 0.4668 \end{aligned}$$

Para  $D$ , se tiene:

$$D = \frac{5.00 - 0.072}{\tan(45.9818)} = \frac{4.9280}{1.03487} = 4.7620$$

$$L = \frac{4.7620}{\cos(45.9818)} = \frac{4.7620}{0.6949} = 6.8528$$

Por lo tanto:

$$k = \frac{6.8528}{4.7620} = 1.4391$$

Ahora calculando las constantes  $\alpha$  y  $\beta$  con una frecuencia de 6,385 GHz se tiene:

$$\alpha = 4.09 \times 10^{-2} \cdot (6.385)^{0.699} = 0.1495$$

$$\beta = 1.41 \cdot (6.385)^{-0.0779} = 1.22038$$

Calculando los valores para sustituir

$$R_p^\alpha = (0.0018)^{0.1495} = 0.3887$$

$$c \cdot \alpha = (0.2156) \cdot (0.1495) = 0.03223$$

$$\mu \cdot \alpha = (0.4668) \cdot (0.1495) = 0.06980$$

$$b^\alpha = (6.7349)^{0.1495} = 1.3230$$

$$e^{\mu \cdot \alpha \cdot D} = e^{(0.4668)(0.1495)(4.7620)} = e^{0.3323} = 1.3942$$

$$e^{c \cdot \alpha \cdot d} = e^{(0.2156)(0.1495)(7.5920)} = e^{0.2447} = 1.2772$$

$$e^{c \cdot \alpha \cdot D} = e^{(0.2156)(0.1495)(4.7620)} = e^{0.1535} = 1.1660$$

Sustituyendo los valores, se tiene:

$$Lr_{0.0018}(dB) = (1.4391) \cdot (0.3887) \cdot \left( \frac{1.3942 - 1}{0.06980} - \frac{(1.3230) \cdot (1.2772)}{0.03223} + \frac{(1.3230) \cdot (1.1660)}{0.03223} \right)$$

$$Lr_{0.0018}(dB) = (0.5594) \cdot ((5.6476) - (52.4274) + (47.8630))$$

$$Lr_{0.0018}(dB) = (0.5594) \cdot (1.0832)$$

Por lo tanto para un  $R_p = 0.0018$  mm/h , la atenuación por lluvia será:

$$Lr_{0.0018}(dB) = 0.6059dB$$

### 3.3 CONSOLIDACIÓN DE RESULTADOS

#### 3.3.1 VALORES DEL ENLACE ORIGINAL

Las antenas son de las mismas características que las utilizadas para el nuevo calculo

Los valores de los ángulos y alturas son similares que los empleados e nuevo diseño.

#### **Relación de Potadora a Ruido (C/N) Lima:**

- Relación C/N del enlace ascendente 31.60 dB
- Relación C/N del enlace descendente 17.60 dB

#### **Potencia del Amplificador de Alta Potencia.**

59.30 W

#### **Relación de Potadora a Ruido (C/N) Iquitos:**

- Relación C/N del enlace ascendente 50.50 dB
- Relación C/N del enlace descendente 29.40 dB

#### **Potencia del Amplificador de Alta Potencia.**

16.10 W

### 3.3.2 VALORES RESULTADO DEL NUEVO DISEÑO.

Características de las antenas de las estaciones terrenas:

E/T	Diámetro(m)	G <sub>Tx</sub> (dB)	G <sub>Rx</sub> (dB)	T <sub>Ruido</sub> (°K)
Antena ubicada en E/T Villa El Salvador	7.3	49.70	46.00	33.00
Antena ubicada en E/T Iquitos	3.8	46.20	41.80	22.00

#### Angulo de elevación y azimut.

- Ángulo de elevación y azimut de la E/T ubicada en la Lima, Villa El Salvador:

Ángulo de elevación: 45.9818<sup>a</sup>

Ángulo de azimut: 286.2100<sup>a</sup>

- Ángulo de elevación y azimut de la E/T ubicada en la Loreto, Iquitos.

Ángulo de elevación: 43.5941<sup>o</sup>

Ángulo de azimut: 274.4945<sup>o</sup>

#### Distancia al satélite Satmex 6

- Distancia desde la E/T de Villa El Salvador hacia el Satélite Satmex 6:

37346.4930 Km

- Distancia desde la E/T de Iquitos hacia el Satélite Satmex 6:

37536.1310 Km

#### Resultados respecto a la E/T Villa El Salvador:

##### Atenuación en el espacio libre

- Atenuación del espacio libre E/T Villa El Salvador al satélite Satmex 6.

L=199.9900dB.

- Atenuación del espacio libre E/T Iquitos al satélite Satmex 6.

L=196.3120 dB

#### Relación de Potadora a Ruido (C/N)

- Relación C/N del enlace ascendente 37.5529 dB
- Relación C/N del enlace descendente 23.6006 dB
- Relación C/N total 23.0610 dB



### **Potencia del Amplificador de Alta Potencia.**

57.7630W

### **Atenuación por lluvia**

- **Atenuación por lluvia en Lima, Villa El Salvador.**

Lr= 0.5889 dB

- **Atenuación por lluvia en Loreto, Iquitos.**

Lr=1.978 dB

### **Resultados respecto a la E/T Iquitos:**

#### **Atenuación en el espacio libre**

Atenuación del espacio libre E/T Villa El Salvador al satélite Satmex 6.

L=199.9900dB.

Atenuación del espacio libre E/T Iquitos al satélite Satmex 6.

L=196.3120 dB

#### **Relación de Potadora a Ruido (C/N)**

- Relación C/N del enlace ascendente 53.6019 dB
- Relación C/N del enlace descendente 32.3854 dB
- Relación C/N total 32.3527 dB

### **Potencia del Amplificador de Alta Potencia.**

14.5154W

### **Atenuación por lluvia**

- **Atenuación por lluvia en Lima, Villa El Salvador.**

Lr= 0.6059 dB

- **Atenuación por lluvia en Loreto, Iquitos.**

Lr=7.9293 dB

## CONCLUSIONES

Durante el desarrollo del presente informe se consideraron aspectos importantes como la calidad del enlace satelital, las ubicaciones geográficas de las estaciones terrenas, las características climáticas entre otras.

Se realiza el diseño de enlace satelital entre la estación Maestra y remota, considerando la elección de la zona geográfica en donde se instalará la antena transmisora y receptora, de las localidades elegidas para el presente informe se deben considerar realizar estudios referentes al clima, relieve, humedad, vientos e interferencias de RF.

Se concluye que la causa principal para el bajo rendimiento y performance del enlace se debe a la obstaculización de la línea de vista de la antena ubicada en la estación remota de Iquitos.

Las pérdidas o degradaciones en el espacio de la trayectoria del medio de comunicación para el caso de este trabajo no son tan perjudiciales ya que en el cálculo del enlace satelital se está considerando trabajar en la Banda C.

Según los valores obtenidos en el cálculos realizados para el nuevo diseño de enlace satelital, se concluye que el rendimiento y performance son satisfactorios en comparación a los valores encontrados en el enlace original.

## RECOMENDACIONES

Es recomendable realizar en el lugar en donde se proyecta instalar las estaciones terrenas tanto Maestra y remota, estudios que brinden información sobre el clima, las precipitaciones, las interferencias de RF, calidad de suelo y desarrollo urbano.

En el desarrollo del diseño teórico del cálculo de enlace satelital se deben de contar, para el caso de las estimación de pérdidas del espacio libre y de pérdida por lluvia, con información actualizada y de fuente confiable como las brindadas por el Instituto Geográfico, el Servicio Nacional de Meteorología e hidrología del Perú.

Con respecto al rendimiento y performance del enlace propiamente dicho se deberán considerar las pérdidas que se tendrán en los equipos durante el trayecto de la señal en todas sus etapas.

Se recomienda para el cálculo de enlaces satelitales a realizarse en este tipo de zonas con alta probabilidad de precipitaciones y fenómenos atmosféricos, utilizar la banda C, ya que sus características en la frecuencia son ideales para estas zonas.

Los cálculos para el diseño de enlaces satelitales son teóricos y muchas veces se tomas supuestos ideales para su desarrollo es por ellos que se debe considerar una tolerancia del  $\pm 5\%$  de los calculado, con el objetivo de tener un rango de tolerancia en el desempeño de los equipos y las posibles pérdidas generadas en la trayectoria del enlace satelital.

## BIBLIOGRAFÍA

Aspectos ambientales de Villa El Salvador. RIAL. 200; (1): 2.

Clima, Meteorología y zonas de vida. EISA. 2006; (3): 18.

Maryory U. Calculo de radioenlace satelital. 1a ed. Maracaibo: 2008.

Moncada D. Atenuación por lluvia en un sistema de comunicación Estación - Satélite (ALSCES). Telematique. 2008;7(1):30-32.

Rosado C. Comunicación por satélite. 1ª ed. Venezuela: Editorial Limusa; 1999.

Ramírez J. Diseño de enlace satelital [tesis]. México D.F.: Instituto Politécnico Nacional. Escuela de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, 2007.

Hernández C, Corredor O, Pedraza L. Metodología para el diseño de enlaces satelitales (MDES). Revista re-creaciones. Feb 2010;14(26):103-107.

## ANEXOS

### ANEXOS 1

#### **Acrónimos**

BER	Probabilidad de error.
BOI	Inicio de Vida en el Punto de saturación.
BOO	Perdida del amplificador.
ATP	Atenuación de Posición.
C/N	Relación Portadora ruido.
FM	Frecuencia Modulada.
G/T	Relación de ganancia a temperatura de ruido.
HPA	Amplificador de alta potencia.
SSPA	Amplificador de Estado Sólido.
FI	Frecuencia intermedia.
LNA	Amplificador de bajo ruido.
LNB	Convertidor reductor de bloque de bajo ruido.
PIRE	Potencia Isotrópica Radiada Equivalente.
RF	Radio Frecuencia.
SCPC	Canal Único por Portadora.
S/N	Relación señal a ruido

## ANEXOS 2

### GLOSARIO

#### A

**Amplificador:** Dispositivo diseñado para aumentar el nivel de potencia, voltaje o corriente de señales eléctricas o electromagnéticas.

**Amplificador de estado sólido:** Aparato electrónico compacto utilizado en sistemas de comunicación vía satélite para incrementar la potencia de salida de una señal, con el fin de hacerla llegar con un nivel adecuado para su retransmisión a un receptor. También se le conoce como SSPA (Solid State Power Amplifier) por sus siglas en inglés.

**Amplificador de Alta Potencia:** Aparato electrónico utilizado en sistemas de comunicación vía satélite para incrementar la potencia de acceso al satélite de una señal, con el fin de hacerla llegar con un nivel adecuado. También se le conoce como HPA (High Power Amplifier) por sus siglas en inglés.

**Amplificador de Bajo Ruido (LNA):** Low Noise Amplifier. Esta expresión inglesa designa un circuito electrónico que realiza la amplificación de la señal proveniente del satélite, a través de la antena parabólica y la fuente. Véase también Bloque Amplificador de Bajo Ruido.

**Ancho de banda:** Rango de frecuencias requerida para propagar información a través de un sistema. El ancho de banda de un sistema de comunicación debe ser lo suficientemente ancho para que pasen todas las frecuencias significativas de la información. De la misma manera que las tuberías pueden llevar más agua al aumentar su diámetro, la cantidad de información que puede transportar una señal depende del ancho de banda.

**Angulo de elevación:** Angulo de apuntamiento de una antena con respecto al plano horizontal.

**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.

**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.

**Azimut:** Ángulo de orientación de una antena, que puede llevarse a cabo por el movimiento horizontal proporcionado por monturas tipo azimut-elevación. Normalmente se mide en grados y se realiza en el sentido de las manecillas del reloj a partir del Norte (0°).

## **B**

**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:** Conjunto de frecuencias comprendidas entre límites determinados, pertenecientes a un espectro o gama de mayor extensión. La clasificación adoptada internacionalmente está basada en bandas numeradas que van desde la que se ubica en los  $0.3 \times 10^n$  Hz a los  $3 \times 10^n$  Hz, en la cual n es el número de banda.

**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 frecuencia que se encuentra en los límites de 3.9 GHz y 6.2 GHz. Ésta banda se utiliza tanto para transmisiones de microondas como de satélite, así como en las transmisiones vía satélite para televisión.

**Banda L:** Rango de frecuencias que se encuentra en los límites de 940 y 1550 MHz. Esta banda es muy utilizada en las comunicaciones móviles vía satélite, tanto terrestres como marítimas y aéreas.

**Banda Ka:** Rango de frecuencias de 20 a 30 GHz utilizada para la transmisión/recepción de señales desde estaciones fijas y móviles.

**Banda Ku:** Rango de frecuencias que se encuentra en los límites de 12 y 14 GHz. Esta banda se utiliza únicamente para las transmisiones por satélite, su principal uso es el de transmisiones de datos y servicios ocasionales de televisión.

**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.

**Bloque Amplificador de Bajo Ruido (LNB):** *Low Noise Block downconverter.* Es un LNA completado por un circuito electrónico que transforma una frecuencia en otra (LNC). Gracias a su oscilador local, en el que la frecuencia varía según los diferentes tipos, el convertidor transfiere la señal al receptor, en la gama de 950 a 2050 MHz (llamada BIS) directamente transformada por el sintonizador del receptor, las señales emitidas en Gigahertz (GHz) por el satélite en cuestión. También permite mayor flexibilidad de tratamiento y transporte de la señal. Existen varios tipos de LNB que también pueden tratar las hiperfrecuencias (full banda, triple banda, Marconi, Universal). LNA + LNC= LNB.

**Broadcast:** Transmisión unidireccional a múltiples puntos receptores. Radiodifusión.

## C

**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.

**Canal Único 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.

**CCITT:** Comité Consultivo Internacional de Telefonía y Telegrafía. Actual Sector de Telecomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones(UIT-T).



**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.

**Constante de Boltzmann:** Relación de la energía promedio de una molécula a la temperatura absoluta del medio. Su valor es:

$$k=1.38 \times 10^{-23} \text{joules/kelvin}=228.5992 \text{dBJ/K.}$$

**CW:** Portadora limpia. Señal sin modular.

## D

**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<sub>i</sub>:** Decibeles referidos a la potencia radiada por una antena isotrópica.

**dB<sub>m</sub>:** 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.

## E

**E<sub>b</sub>/N<sub>0</sub>:** 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.

## F

**FEC:** Corrección de errores sin canal de retorno que pueden ser de  $\frac{1}{2}$  ,  $\frac{3}{4}$  .

**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 dBi/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.

**FM:** Modulación de frecuencia; modulación de señal continua que utiliza la variación de la frecuencia en proporción a la amplitud de la señal moduladora.

**FSK:** Conmutación de la frecuencia instantánea de una senoidal para representar unos y ceros binarios.

## G

**Guía de onda:** Dispositivo para conducción de ondas electromagnéticas.

## O

**Orilla de cobertura (EOC):** Limite del área de servicio de un satélite.

## P

**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.

**PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Efectivamente):** Producto de la potencia suministrada a la antena por su ganancia en relación con una antena isotrópica (ideal, radiando en todas direcciones) en una dirección dada.

**Posición orbital:** Es la ubicación de un satélite en el arco orbital. Se expresa en grados (Este / Oeste) a partir del meridiano de Greenwich.

**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.

## Q

**QPSK:** PSK en cuadratura; utiliza PSK tanto en fase como en cuadratura para proporcionar información.

## R

**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.

## S

**SCPC (Single Channel Per Carrier):** Enlace mono canal por corriente portadora, término referido a los enlaces de voz analógicos, en los cuales es modulada una sola señal por portadora. Este canal puede ser objeto de diversas formas de tratamiento. Los sistemas SCPC típicos utilizan modulación de frecuencia.

## T

**Telemetría:** Información del satélite a través de la cual se conoce su salud y su configuración.

**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. Dispositivo que forma parte del satélite, el cual es capaz de recibir la señal, filtrarla, cambiarla de frecuencia y de polarización, la amplifica en potencia y la retransmite al receptor de la estación terrena, con una cobertura amplia. Los satélites llegan a tener hasta 12 Transpondedores verticales y 12 horizontales, según la

tecnología de fabricación. La función de un Transpondedor es recoger la señal entrante de la antena receptora, esta señal es amplificada por un LNA (amplificador de bajo ruido), el que incrementa la señal sin admitir ruido. A la salida del LNA la señal es pasada a un convertidor de frecuencia que reduce la señal a la frecuencia descendente. La señal descendente pasa para su amplificación final a un amplificador de alta potencia (HPA) (usualmente de 5 a 15 watts), el que tiene un tubo de ondas progresivas (TWT) como amplificador de salida. Una vez concluido el proceso la señal es pasada a la antena descendente y se realiza el enlace descendente con la estación receptora.

**Temperatura de ruido:** Temperatura provocada por el ruido térmico. Cuando esta afecta a un rango de frecuencias dado, el poder del mismo es proporcional a la temperatura absoluta y al rango de frecuencias en cuestión. La temperatura de ruido esta referida a la salida de la antena receptora de la estación terrena que corresponda a la potencia de ruido de radiofrecuencias que produce el ruido total observado en la salida del enlace por satélite, con exclusión del ruido debido a las interferencias provocadas por los enlaces adyacentes que utilizan otros satélites y por los sistemas terrestres.

## U

**UIT:** Unión Internacional de Telecomunicaciones (International Telecommunications Union).

## V

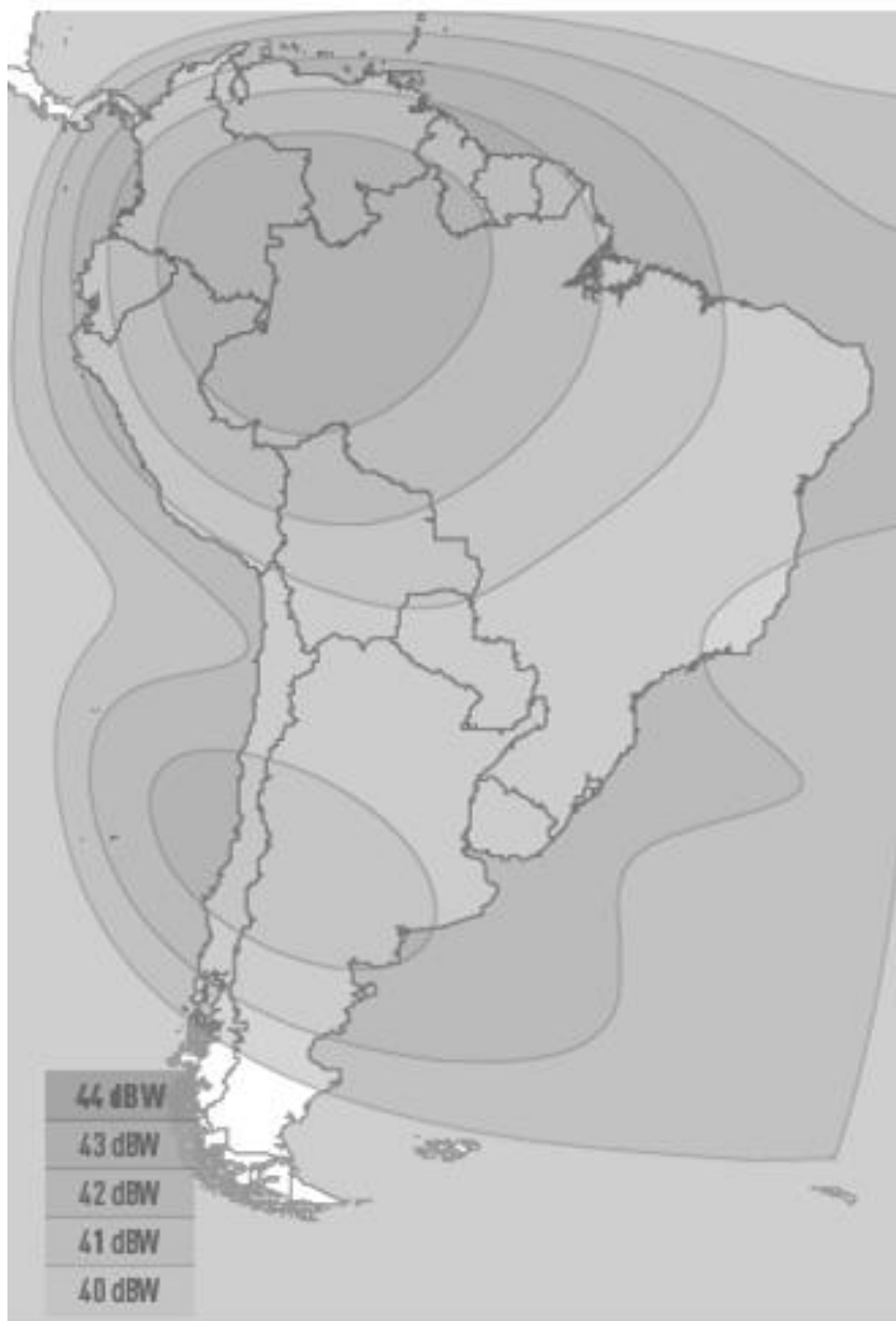
**Vida útil de un satélite:** Periodo de tiempo en el que un satélite presta servicios.

**VSAT:** Terminal de apertura muy pequeña. Estaciones terrenas con antenas de diámetro igual o menor a 2.4 metros.

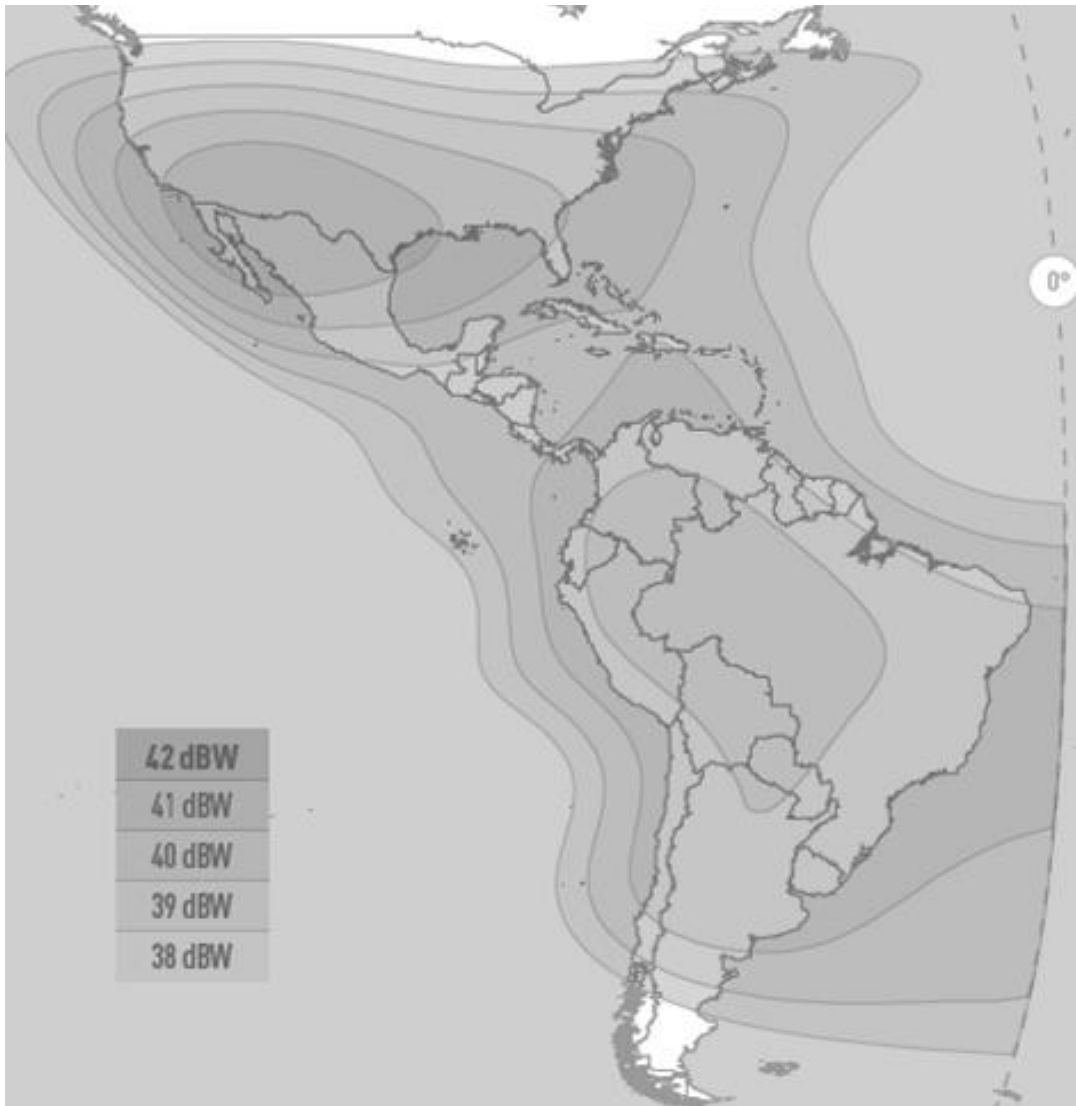
### ANEXOS 3

#### FIGURAS PARA CALCULAR EL PIRE

Cobertura del satélite Satmex 6 para América del Sur en la Banca C.



Cobertura del satélite Satmex 6 para América en la Banca C.



**ESPECIFICACIONES DE TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS A UTILIZADOS EN LA ESTIMACIÓN DEL CÁLCULO.**

Especificaciones técnicas de la antena de 7.3 metros

## Model 7.3m Cassegrain Antenna

### Satcom Antennas



#### *The Strength to Perform*

Bolt-together, all-aluminum reflector with self-aligning, fully interchangeable components

Designed for 1.5 to 18 GHz operation, meeting FCC 25.209 and ITU-RS-580 regulations

Galvanized steel elevation-over-azimuth pedestal with jackscrews

Survives 125 mph winds in any position

#### Description

The General Dynamics SATCOM Technologies 7.3-meter antenna delivers exceptional performance for transmit/receive and receive only applications for L through DBS-band frequencies. This antenna offers a reflector design that incorporates precision-formed panels, contoured radials and a machined hub assembly. It features an innovative Cassegrain feed and subreflector design which results in high gain, low noise temperature, high antenna efficiency and excellent rejection of noise and microwave interference. A large center hub provides spacious accommodation for equipment mounting. The reflector is supported by a galvanized kingpost pedestal that provides the required stiffness for pointing and tracking accuracy. The pedestals are designed for full orbital arc coverage and are readily adaptable to ground or rooftop installations. The electrical performance is compliant with FCC and ITU-RS-580 sidelobe specifications and Intelsat (F3, E3) and Eutelsat (L, S1) requirements. All configurations meet SATCOM Technologies' own type-approved quality assurance and performance guarantees.

#### Options

- L, S, C, X, Ku and DBS-band feeds
- C/Ku receive only feed systems
- Specialized feed systems (e.g. extended, multi-band)
- Antenna control system with tracking
- Reflector and feed dicing systems
- Environmental hub configurations
- Integrated transmit cross axis kits
- Integrated LNA or LNB systems
- HPAAs, converters and M&C systems
- Load frame mounts
- Packing for sea and air transport
- Turnkey installation and testing

#### Upgrades

- Extended azimuth travel
- Low operating temperatures
- High power configurations

**GENERAL DYNAMICS**  
SATCOM Technologies



## Model 7.3m Cassegrain Antenna

### Technical Specifications

Electrical <sup>(1)</sup>	C-Band 4-Port Circular Polarized		C-Band 4-Port Linear Polarized		Ext. C-Band 4-Port Linear Polarized		Ku-Band 4-Port Linear Polarized		DBS-Band 4-Port Linear Polarized	
	Receive	Transmit	Receive	Transmit	Receive	Transmit	Receive	Transmit	Receive	Transmit
Frequency (GHz)	3.625 - 4.200	5.850 - 6.425	3.625 - 4.200	5.850 - 6.425	3.400 - 4.200	5.850 - 6.725	10.700 - 12.750	13.750 - 14.500	10.700 - 12.750	17.300 - 18.400
Antenna Gain, Midband dBi <sup>(2)</sup>	48.10	51.70	48.10	51.80	48.00	51.80	56.50	59.10	56.90	59.60
VSWR	1.25:1	1.25:1	1.25:1	1.25:1	1.30:1	1.30:1	1.30:1	1.30:1	1.30:1	1.30:1
Pattern Beamwidth <sup>(3)</sup>										
-3 dB, at midband	0.67°	0.45°	0.67°	0.44°	0.67°	0.43°	0.23°	0.20°	0.23°	0.17°
-15 dB, at midband	1.41°	0.94°	1.41°	0.92°	1.41°	0.90°	0.48°	0.42°	0.48°	0.36°
Antenna Noise Temperature										
5° Elevation	52 K		49 K		53 K		87 K		75 K	
10° Elevation	43 K		40 K		44 K		73 K		60 K	
20° Elevation	37 K		35 K		39 K		65 K		51 K	
40° Elevation	35 K		33 K		37 K		61 K		47 K	
Typical G/T (dB/K) <sup>(3)</sup>										
4.000 GHz, 30 K LNA	29.8		30.0		29.6				36.1	
11.725 GHz, 70 K LNA							35.2			
Axial Ratio	0.50 dB	0.50 dB								
Power Handling (total)		10 kW CW		10 kW CW		10 kW CW		2 kW CW		2 kW CW
Cross Polarization Isolation										
On Axis	30.8 dB	30.8 dB	35.0 dB	35.0 dB	35.0 dB	35.0 dB	35.0 dB	35.0 dB	35.0 dB	35.0 dB
Within 1.0 dB beamwidth	30.8 dB	30.8 dB	30.0 dB	30.0 dB	30.0 dB	30.0 dB	35.0 dB	35.0 dB	35.0 dB	30.0 dB
Port to Port Isolation										
Rx/Tx (Rx frequency)	0 dB	-70 dB	0 dB	-50 dB	0 dB	-70 dB	0 dB	-70 dB	0 dB	-75 dB
Tx/Rx (Tx frequency)	-85 dB	0 dB	-85 dB	0 dB	-85 dB	0 dB	-85 dB	0 dB	-85 dB	0 dB
Sidelobe Performance					Meets ITU-RS-580, FCC					
RF Specification	975-3475		975-3476		975-3480		975-3484		975-3486	

(1) All values are at rear feed flange. (2) C-Band Rx values are at 4 GHz. (3) Typical G/T at 20° elevation with clear horizon using single bolt-on LNA to feed.

Mechanical/Environmental <sup>(4)</sup>	Kingpost Pedestal (KCC120)	Kingpost Pedestal (KCC100)
Antenna Diameter	7.3 meters (24 feet)	
Antenna Type	Cassegrain design	
Reflector Construction	26 precision-formed aluminum panels with heat-diffusing white paint Cleaned and brightened aluminum back-up structure	
Hub Dimensions	60 in (152 cm) OD, 36 in (91 cm) depth	
Mount Configuration	Elevation over azimuth pedestal, constructed of galvanized A36 steel	
Drive Type	Manual jack screws	
Azimuth Travel	120° continuous	200° (2 segments @ 120°)
Elevation Travel	0 to 90° continuous	0 to 90° continuous
Foundation (L x W x D)	16.5 x 16.5 x 2 ft (5.0 x 5.0 x 0.61 m)	
Concrete	29.2 yds <sup>3</sup> (115.5 m <sup>3</sup> )	
Reinforcing Steel	1,980 lbs. (900 kg)	
Shipping Containers	One 40 ft standard	
Operational Wind Loading	45 mph (72 km/h) gusting to 60 mph (97 km/h)	
Survival Wind Loading	125 mph (200 km/h) @ 58° F (15° C), any position	
Operational Temperature	+5° to +122° F (-15° to +50° C)	
Survival Temperature	-22° to +140° F (-30° to +60° C), low temperature options available	
Rain	Up to 4 in/h (10 cm/h)	
Relative Humidity	0 to 100% with condensation	
Solar Radiation	360 BTU/h/ft <sup>2</sup> (1,000 Kcal/h/m <sup>2</sup> )	
Ice (survival)	1 in (2.5 cm) on all surfaces or 1/2 in (1.3 cm) on all surfaces with 80 mph (130 km/h) wind gusts	
Atmospheric Conditions	As encountered in coastal regions and/or heavily industrialized areas	
Shock and Vibration	As encountered during shipment by airplane, ship or truck	

(4) Some specifications may vary based on the combination of equipment, options and/or upgrades ordered.

## GENERAL DYNAMICS

### SATCOM Technologies

2600 N. Longview Street • Kilgore, TX 75662 USA • Tel: (903) 984-0555 • Fax: (903) 984-1826 • Email: kilgore-sales@gdsatcom.com  
Website: www.gdsatcom.com 655-0060B, 07/08

© 2008 General Dynamics. All rights reserved. General Dynamics reserves the right to make changes in its products and specifications at any time and without notice. All trademarks included in this letter are the trademarks of General Dynamics. All other product and service names are the property of their respective owners. © Reg. U.S. Pat. and Tm. Off.

## Especificaciones técnicas de la antena de 3.8 metros



Receive/Transmit

Series 1383

3.8 M

C & KU BAND

RX/TX

SERIES 1383



Prodelin Corporation is the world's largest manufacturer of Rx/Tx VSAT antennas. We have the broadest product line in the industry including Receive Only, Rx/Tx and Rural Telephony antenna systems. Prodelin offers nineteen antenna sizes, 47cm to 4.5M. Prodelin is the leader in obtaining type certifications and approvals for Intelsat, AsiaSat and Eutelsat. Prodelin antennas provide the best quality in the market due to the sophisticated, precision SMC compression molding process technology. Prodelin provides the best value antenna solution to the market with competitive prices, the highest quality products and superb engineering support. Prodelin is ISO registered, KEMA # 70022.01. *Prodelin - The Market Leader in VSAT Antennas.*



Back View  
3.8 M Rx/Tx



Options  
C-Band Circular Polarized Feed

### Key Features

- C-Band Intelsat F1, H4 and G Type approved: approval # IA031A00 (without LNA) and # IA031AA0 (approved LNA included)
- Intelsat approved LNA kit eliminates costly field testing
- C-Band INSAT & wide-band available
- Precision compression molded four segment offset reflector
- Installation time reduced with improved mount design
- Reduced packaging volume and weight
- Fully galvanized steel Az/El mount
- Variety of mounts available
- Reflector/Feed electrical Anti-Icing available
- Two axis tracking configuration available

Receive/Transmit

Series 1383

3.8 M

C & KU BAND

RX/TX

SERIES 1383

Electrical		C-Band Linear	C-band Circular	Ku-Band
Antenna Size		3.8M	3.8M	3.8M
Operating Frequency (GHz)	RX	3.4 - 4.2 GHz	3.625 - 4.2 GHz	10.95 - 12.75 GHz
	TX	5.845 - 6.725 GHz	5.845 - 6.425 GHz	13.75 - 14.5 GHz
Midband Gain ( $\pm .3$ dB)	RX	41.8 dB	42.1 dB	51.7 dB
	TX	46.2 dB	46.0 dB	53.2 dB
Antenna Noise Temperature	10° elevation	31 K	28 K	29 K
	20° elevation	25 K	22 K	21 K
	30° elevation	23 K	20 K	20 K
	40° elevation	22 K	19 K	19 K
Sidelobe Envelope, Co-Pol (dBi)	1° < $\theta$ < 20°	29-25 Log $\theta$ dBi	29-25 Log $\theta$ dBi	29-25 Log $\theta$ dBi
	20° < $\theta$ < 26.3°	-3.5 dBi	-3.5 dBi	-3.5 dBi
	26.3° < $\theta$ < 48°	32 -25 Log $\theta$ dBi	32 -25 Log $\theta$ dBi	32 -25 Log $\theta$ dBi
	48° < $\theta$ <	-10 dBi (averaged)	-10 dBi (averaged)	-10 dBi (averaged)
		Linear	Circular	Linear
Feed Interface	RX	CPR 229	CPR 229	WR75 or direct radio
	TX	CPR 137 or Type N	CPR 137 or Type N	mounting
Axial Ratio	RX		1.3 VAR (2.28 dB)	
	TX		1.09 VAR (.75 dB)	
Cross-Pol Isolation		>30 dB (on axis)	>30 dB (on axis)	>30 dB (on axis)
VSWR		1.3:1 Max.	1.3:1 Max.	1.3:1 Max.
Type Approved LNA			Prodelin part#7003-005	
G/T with 35° LNA @ 10° elevation angle @ 4.0 GHz			23.9 dB/K	
<b>Mechanical</b>				
Reflector Material		Glass Fiber Reinforced Polyester SMC		
Antenna Optics		4 Piece Prime Focus, Offset Feed		
Mount Pipe Size		10" SCH 40 Pipe (10.75" OD) 27.30 cm.		
Elevation Adjustment Range		12° to 90° (0° to 15° Inverted)		
Azimuth Adjustment Range		360° Continuous, $\pm$ 35° Fine Adjustment		
Shipping Specifications	Weight	1575 lbs. (715 kg.)		
<b>Environmental Performance</b>				
Wind Loading	Operational	50 mph (80 km/h)		
	Survival	125 mph (201 km/h)		
Temperature	Operational	-40° to 140° F (-40° to 60° C)		
	Survival	-50° to 160° F (-46° to 71° C)		
Atmospheric Conditions		Salt, Pollutants and Contaminates as Encountered in Coastal and Industrial Areas		
Solar Radiation		360 BTU/HR <sup>2</sup>		

