



FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

DISEÑO DE UNA RED DE MONITOREO SÍSMICO Y VOLCÁNICO CON
TRANSMISIÓN VSAT PARA EL INSTITUTO GEOFÍSICO NACIONAL

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
establecidos para optar por el título de Ingeniera en Redes y
Telecomunicaciones

Profesor Guía
Ing. Tarquino Sánchez A, MBA.

Autora
María Lorena Gomezjurado Benítez

Año
2014

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con la estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”

Tarquino Sánchez Almeida

Ingeniero MBA.

C.I. 100158525-4

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

María Lorena Gomezjurado B.

CI: 1717482812

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi madre, una mujer fuerte quien inculcó valores que me han hecho una persona honesta, responsable, fiel a mis principios y seria en mis decisiones.

A Valeria y Paulina, hermanas y amigas con quienes he compartido experiencias maravillosas. A mi novio Thiago, gracias por el amor y la paciencia incondicional.

Un agradecimiento especial al tutor de mi trabajo, ingeniero Tarquino Sánchez, amigo y guía responsable. Gracias para el Instituto Geofísico Nacional, empresa donde trabajé por ocho años, sirviendo con responsabilidad al país.

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mi padre, una persona íntegra, un ser maravilloso. Tus enseñanzas son para siempre, tu guía la siento desde el cielo.

Este trabajo es por y para ti. Te amo para siempre.

RESUMEN

El presente trabajo desarrolla el diseño de una red de monitoreo sísmico y volcánico con transmisión VSAT para el Instituto Geofísico Nacional. El objetivo principal fue realizar un método de telemetría en tiempo real para aquellos sitios donde el IG ha planificado instalar equipos de monitoreo sísmico y volcánico, pero que lamentablemente se encuentran en lugares de difícil acceso.

En principio se analizó las ventajas y desventajas de trabajar en dos bandas de frecuencias distintas, banda C y banda Ku. El mismo procedimiento fue realizado para las técnicas de modulación y métodos de acceso al satélite de comunicaciones.

La ubicación de los nodos VSAT fue determinada en reuniones mantenidas en el IG con científicos vulcanólogos y sismólogos; de igual manera, en el laboratorio del Instituto se realizaron mediciones del tráfico provocado por cada equipo de monitoreo, de esta forma se determinó la velocidad de transmisión para cada nodo de la red.

El diseño de la red fue realizado utilizando el satélite IS-14 INTELSAT, la topología escogida fue estrella con alquiler de HUB, es decir un proveedor es el encargado de dar servicio; esto porque no se justificaba instalar un HUB propio para un tráfico de red relativamente pequeño.

A través de documentos proporcionados por INTELSAT se escogió el equipamiento a utilizar: antenas, módems y routers.

Mediante cálculos matemáticos se determinaron las relaciones E_b/N_0 y BER por cada enlace desde las estaciones terrenas hacia el satélite y desde el HUB hacia dos nodos receptores, el Instituto Geofísico Nacional y el Observatorio

del volcán Tungurahua (OVT). Se comprobó los niveles óptimos de enlace obtenidos al trabajar con la topología sugerida.

ABSTRACT

The present document develops a seismic and volcanic monitoring network with VSAT transmission for the National Geophysical Institute from Ecuador.

The main target was to create real time telemetry for those sites that are located in remote places and where the IG has planned to install monitoring equipment. At the beginning, advantages and disadvantages of working with C and Ku band were analyzed. The same procedure was done for the modulation techniques and the satellite access methods.

The location for the VSAT nodes was chosen during some meetings that were held between seismologists and volcanologists; the traffic measurements were done at the IG lab using monitoring equipments, detecting the throughput and data rates for each part.

The INTELSAT IS-14 satellite was used for the network design, a star topology was chosen renting a provider's HUB; it was not justifiable to install an own HUB for small traffic.

Through some INTELSAT documents related to the earth stations standards the VSAT equipments were chosen; antennas, modems and routers.

Some mathematics calculations were done in order to get the E_b/N_0 and BER levels, from each site to the satellite and from the HBU to the IG and OVT. The reached levels were perfect, having the lowest BER and the highest E_b/N_0 .

The design target was reached, a seismic and volcanic monitoring network with VSAT transmission with the best levels.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
1. MARCO TEÓRICO	3
1.1 Sistemas de Comunicaciones.....	3
1.1.1 Comunicación alámbrica	3
1.1.2 Comunicaciones inalámbricas	6
1.1.3 Tipos de órbitas satelitales	19
1.1.4 Cinturones de Van Allen	20
1.1.5 Satélites Geoestacionarios	23
1.1.6 INTELSAT	24
1.2 Introducción a las Redes VSAT	29
1.2.1 Concepto de Red VSAT	29
1.2.2 Características de una red VSAT	29
1.2.3 Ventajas de una Red VSAT	30
1.2.4 Desventajas de una Red VSAT	32
1.3. Topologías de una Red VSAT	33
1.3.1 Topología Estrella.....	35
1.3.2 Topología Malla	37
1.4. Elementos de una red VSAT con topología estrella.....	37
1.4.1 Hub Central	38
1.4.2 Tasa de error en el bit (BER).....	54
1.4.3 Estación Terrena	54
1.4.4 Segmento Espacial.....	70
1.5 Métodos de Acceso al satélite	73
1.5.1 Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA)	74
1.5.2 Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)	76
1.5.3 Acceso múltiple por distribución de código (CDMA).....	80
1.5.4 Sistema ALOHA	81
1.5.5 Acceso múltiple por asignación de demanda (DAMA).....	81

1.6. Técnicas de modulación digital	82
1.6.1 Modulación digital en amplitud (ASK).....	83
1.6.2 Modulación digital en frecuencia (FSK).....	86
1.6.3 Modulación digital de fase (PSK).....	87
1.7. Monitoreo sísmico.....	89
1.7.1 Red de monitoreo sísmico	89
1.8. Monitoreo Volcánico.....	93
CAPITULO II	94
2. ANTECEDENTES Y REQUERIMIENTOS DE LA RED	94
2.1 Estado actual de la red de monitoreo del Instituto	
Geofísico	94
2.1.1 Radioenlaces.....	95
2.1.2 Enlaces LAN.....	111
2.2 Soluciones para la red de monitoreo del IG.....	119
2.3 Requerimientos para el diseño de la red.....	120
2.4 Medición de tráfico	121
2.4.1 Simulación para la transmisión	123
2.4.2 Para simular la recepción	126
2.4.3 Simulación para la transmisión con GPS.....	131
2.4.4 Simulación para la transmisión de la cámara IP	135
CAPÍTULO III	139
3. DISEÑO DE LA RED	139
3.1 Descripción de la red VSAT.....	139
3.2 Ubicación geográfica de las estaciones VSAT	139
3.3 Selección del satélite a utilizar.....	145
3.3.1 Calculadora de Sun Outage	148
3.4 Selección de la banda de frecuencias a utilizar	149
3.5 Selección de la topología a utilizar	149
3.6 Selección del método de acceso al satélite	150

3.7	Diseño de las estaciones terrenas.....	152
3.7.1	Diseño del sistema de transmisión	154
3.7.2	Cálculos para el cómputo del enlace	164
CAPÍTULO IV		196
4. ANÁLISIS DE COSTOS		196
4.1	CAPEX.....	196
4.2	Cálculo del CAPEX para la red de monitoreo con transmisión VSAT	196
4.2.1	Dividir a la infraestructura de tal manera que se generen 3 infraestructuras	196
4.2.2	Determinar la tasa para proyectos de las telecomunicaciones en el Ecuador.	197
4.2.3	Determinar el CAPEX global, parcial y terminal	197
4.2.4	Mensualización	200
4.2.5	Determinación de la capacidad de la red según el porcentaje de utilización.....	201
CAPÍTULO V		205
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		205
5.1	Conclusiones.....	205
5.2	Recomendaciones.....	207
REFERENCIA.....		209
ANEXOS.....		212

INTRODUCCIÓN

El Instituto Geofísico Nacional es la entidad responsable de realizar el monitoreo sísmico y volcánico en el Ecuador. Desde 1983 el IG empezó a desarrollar e importar equipamiento con el fin de realizar la prevención de desastres naturales, la primera estación fija de monitoreo fue instalada en el Volcán Cayambe con el objetivo de registrar el incremento de actividad en el coloso.

Con el pasar del tiempo el Instituto fue adquiriendo experiencia, tecnología y personal encargado del desarrollo, instalación y mantenimiento de la red de monitoreo.

Las redes analógicas migraron a sistemas digitales, en principio sólo dos eran las estaciones con telemetría digital, una de ellas instalada en las inmediaciones del volcán Tungurahua y otra cercana al volcán Cotopaxi.

Gracias al proyecto que mantuvo el IG con la agencia de cooperación japonesa JICA, la red digital de telemetría se expandió notablemente; permitió que los volcanes Tungurahua y Cotopaxi permanezcan monitoreados de manera continua en tiempo real. Ese sería solo el comienzo de un crecimiento acelerado y desordenado, sin planificación, enfocado a necesidades geológicas de monitorización de desastres o eventos naturales.

Redes de telemetría por microonda, radioenlaces digitales y analógicos y fibra óptica permitieron que varias zonas del Ecuador puedan ser monitorizadas por el IG y de esta manera alertar a la población sobre riesgos que eventualmente se pueden presentar.

Lamentablemente no todas las zonas que representan una fuente importante de actividad sísmica y/o volcánica pueden ser controladas, debido a que están ubicadas en lugares de difícil acceso, tal es el caso del volcán Sangay, el que

representa una fuente de datos importante y que ha permanecido en erupción desde 1.965 hasta la actualidad.

Por tales motivos, se diseñó una red de monitoreo sísmico y volcánico que cumpla con los propósitos y necesidades geológicas de controlar los eventos naturales presentados en zonas de difícil acceso. La transmisión vía satélite facilita la comunicación entre los terminales remotos con la central ubicada en el Instituto Geofísico.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se redacta de manera general los conceptos y conocimientos básicos necesarios para el desarrollo del presente trabajo de titulación.

1.1 Sistemas de Comunicaciones

Para que un mensaje pueda ser transmitido es necesario un sistema de comunicación que permita la transmisión de la información a través del tiempo y del espacio desde un origen hacia un destino.

Existen varios mecanismos mediante los cuales se puede propagar información:

- Medios alámbricos
 - Par trenzado
 - Fibra óptica
 - Cable Coaxial
- Medios inalámbricos
 - Radiocomunicaciones por microondas
 - Comunicaciones satelitales

Se detalla a continuación algunas de las principales características de cada uno de ellos.

1.1.1 Comunicación alámbrica

Se entiende por comunicación alámbrica a aquella comunicación eléctrica que requiere de un medio físico para la transmisión de una señal.

Existen tres medios guiados principales:

- Par Trenzado
- Cable coaxial
- Fibra óptica

1.1.1.1 Cable de pares o par trenzado

Formado por dos hilos de cobre cubiertos cada uno de ellos por un aislante. Los cables son trenzados uno alrededor del otro para evitar de esa forma su separación física. Es un cable simple y económico que se emplea en las comunicaciones de baja velocidad.

1.1.1.2 Cable coaxial

Formado por dos conductores, uno central de cobre y de sección tubular recubierto por un aislante. El segundo conductor es una toma a tierra, el mismo evita interferencias electromagnéticas. Todo el conjunto es aislado exteriormente por medio de una cobertura.

1.1.1.3 Fibra óptica

En esencia, un medio óptico de comunicaciones es un sistema electrónico que usa la luz como portador de información (Tomasi, 2003, p.422). Este tipo de sistemas usan fibras de vidrio o de plástico para retener las ondas luminosas y guiarlas en una forma similar a como las ondas electromagnéticas son guiadas en una guía de ondas.

Es importante mencionar que se debe escoger el tipo de medio de transmisión de acuerdo a la aplicación que se requiera. Por ejemplo, no es necesario el uso de fibra óptica para un tráfico de datos menor a 500 Mbps, de esta forma se estaría subutilizando recursos y desperdiciando la capacidad que puede ser otorgada a otro tipo de aplicación.

Existen dos clases de fibra óptica:

- Fibra óptica monomodo
- Fibra óptica multimodo

En las tablas 1 y 2 se detallan las principales características de los medios de transmisión antes mencionados, sus ventajas y desventajas.

Tabla 1. Medios de transmisión alámbricos ventajas y desventajas

Medio de Transmisión	Ventajas	Desventajas
Par trenzado	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo Costo • Alto número de estaciones por segmento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta tasa de error. • Baja inmunidad al <i>crosstalk</i>.
Cable Coaxial	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo Costo • Fácil instalación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Poca inmunidad al ruido.
Fibra óptica	<ul style="list-style-type: none"> • Ligereza • Flexibilidad • Baja atenuación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fragilidad • Equipos costosos. • Empalmes elaborados

Tabla 2. Medios de transmisión características principales

Medio de Transmisión	Velocidades	Ancho de Banda	Distancia
Par trenzado	10-100 Mbps	0.4 Mhz-25 GHz	100 metros por cada segmento.
Cable Coaxial	10-150 Mbps	300-450 MHz	1-10 Kilómetros
Fibra óptica	Hasta 39 Gbps	<ul style="list-style-type: none"> • Monomodo: 50 GHz • Multimodo: 100 MHz-1GHz. 	<ul style="list-style-type: none"> • Monomodo: 100 Km • Multimodo: 2 Km

1.1.2 Comunicaciones inalámbricas

Se conoce como comunicación inalámbrica a aquella que propaga la información a través del espacio libre.

Las principales formas de comunicación inalámbrica son:

- Comunicaciones por microonda
- Comunicaciones vía satélite

1.1.2.1 Radiocomunicaciones por microondas

Se describe a las microondas como ondas electromagnéticas cuyas frecuencias varían desde los 500 MHz hasta los 300 GHz. Las señales de microondas, a causa de sus altas frecuencias inherentes, tienen longitudes de onda relativamente cortas, de ahí su nombre micro-ondas (Tomasi, 2003, p. 761).

Ventajas:

- Los sistemas de radio no necesitan adquisiciones de derecho de vía entre estaciones.
- Para la amplificación se requieren menos repetidoras.
- Las distancias entre los centros de conmutación son menores.
- Las señales de radio se propagan con más facilidad en torno a obstáculos físicos.
- Pueden llevar grandes cantidades de información (Tomasi, 2003, p. 762).

Desventajas:

- Imposible tener coberturas a largas distancias sin línea de vista directa.
- Las condiciones atmosféricas pueden causar deterioro en la calidad de transmisión y recepción de las señales.

1.1.2.2 Comunicaciones vía satélite

Son establecidas para mantener la comunicación entre uno o más sitios los cuales se encuentran en zonas de difícil acceso y largas distancias.

En términos astronómicos, un satélite es un cuerpo celeste que gira en órbita en torno a un planeta. Sin embargo, en términos aeroespaciales un satélite es un vehículo espacial lanzado por humanos, que describe órbitas alrededor de la Tierra o de otro cuerpo celeste (Tomasi, 2003, p.763).

Los satélites de comunicaciones son fabricados por el hombre y giran en órbita en torno a la Tierra, permitiendo efectuar una multitud de comunicaciones hacia una gran variedad de consumidores. En esencia, un satélite de comunicaciones es una repetidora de microondas en el cielo, formada por una diversa combinación de uno o más dispositivos: receptor, transmisor, regenerador, filtros, etc. (Tomasi, 2003, p.763).

1.1.2.2.1 Servicios por satélite

Dos son los factores principales que limitan la capacidad total de tráfico de un satélite: ancho de banda y potencia de amplificadores (Neri, 2003, p. 126). La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), determinó que, para los satélites de comunicaciones se deberá operar en las bandas de VHF, UHF y SHF. Estas bandas son muy amplias, por tal motivo se las dividió en varias sub-bandas; de esta manera se tiene que, UHF contiene a las bandas L y S, SHF contiene las bandas C, K, Ku y Ka, las que actualmente son empleadas por satélites civiles y militares para diferentes servicios (Neri, 2003, p. 126).

Los principales servicios definidos por la UIT y la FCC son:

FSS: Servicio fijo por satélite (*Fixed Satellite Service*), todo tipo de servicio de comunicaciones que no sea móvil o de radiodifusión. La mayor parte de satélites de comunicaciones corresponden a ésta categoría.

BSS: Servicio de radiodifusión por satélite (*Broadcast Satellite Service*), es una categoría especial en la cual las señales transmitidas son recibidas directamente en los hogares, se las suele llamar DBS o DTH (Neri, 2003, p. 127).

Cada servicio tiene sus propias bandas de frecuencia asignadas, y los límites inferior y superior de cada una de ellas pueden variar dependiendo de la región.

MSS: Servicio móvil por satélite (*Mobile Satellite Service*), toda comunicación entre dos puntos arbitrarios en tierra firme, aire o mar; uno de esos puntos puede estar cambiando de posición, o bien ambos.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) dividió al globo terrestre en regiones, las mismas que permiten la mejor organización de las radiocomunicaciones dependiendo de la zona geográfica.

De esta manera se tiene lo siguiente:

Región 1: Comprende Europa, África y el Medio Oriente del Golfo Pérsico, incluyendo Iraq, Mongolia y La reformada Unión Soviética.

Región 2: Comprende las Américas, Groenlandia y algunas islas del Pacífico.

Región 3: Comprende los países de la ex Unión Soviética, Asia, Irán y Oceanía.

Línea A: La línea A, es extendida desde el polo Norte a lo largo del meridiano 40° Este de Greenwich hasta el paralelo 40° Norte; desde ahí sigue un arco circular máximo hasta la intersección del meridiano 60° Este y el Trópico de Cáncer; desde ahí sigue a lo largo del meridiano 60° Este hasta el polo Sur (conapptel, s.f.).

Línea B: La línea B, es extendida desde el polo Norte a lo largo del meridiano 10° Oeste de Greenwich hasta su intersección con el paralelo 72° Norte; desde ahí sigue un arco circular hasta la intersección del meridiano 50° Oeste y el paralelo 40° Norte; desde ahí un arco circular hasta la intersección del meridiano 20° Oeste y el paralelo 10° Sur; desde ahí a lo largo del meridiano 20° Oeste hasta el polo Sur (conapptel, s.f.).

Línea C: La línea C, es extendida desde el polo Norte por un arco circular hasta la intersección del paralelo 65°30' Norte con el límite internacional del estrecho de Bering; desde ahí, un arco de circular hasta la intersección del meridiano 165° Este de Greenwich y el paralelo 50° Norte; desde ahí, un arco circular hasta la intersección del meridiano 170° Oeste y el paralelo 10° Norte. Sigue a lo largo del paralelo 10° Norte hasta su intersección con el meridiano 120° Oeste; desde ahí, sigue a lo largo del meridiano 120° Oeste hasta el polo Sur (conapptel, s.f.).

En la figura 1 se puede observar de manera detallada la división que la Unión Internacional de Telecomunicaciones realizó para la distribución de las radiocomunicaciones a nivel mundial.

Se puede observar que el Ecuador está localizado en la Región 2 de la UIT junto con todo el continente americano.

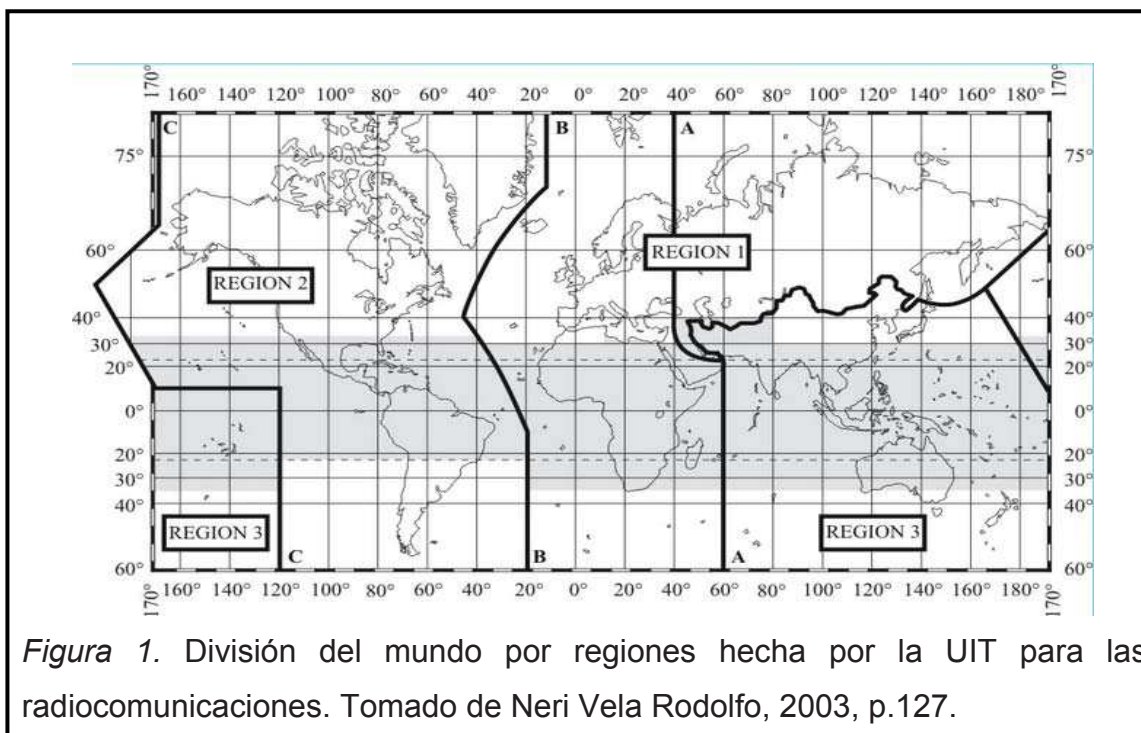


Figura 1. División del mundo por regiones hecha por la UIT para las radiocomunicaciones. Tomado de Neri Vela Rodolfo, 2003, p.127.

En la tabla 3 se despliega el Cuadro Nacional de atribución de frecuencias entre 3.400 a 3.700 MHz, comparándolo con el cuadro de frecuencias permitido por la UIT para la Región 2.

Tabla 3. Cuadro Nacional de atribución de bandas de frecuencia 3400-3700 MHz

REGIÓN 2	ECUADOR
3400-3500 MHz	3400-3500 MHz
Fijo	Fijo
Fijo por satélite	Fijo por satélite
Radioaficionados	radioaficionados
Móvil por satélite	Móvil por satélite
Radiolocalización S5.433	Radiolocalización S5.433
3500-3700 MHz	3500-3700 MHz
Fijo	Fijo
Fijo Por Satélite	Fijo Por Satélite
Aficionados	Aficionados
Móvil salvo aeronáutico	Móvil salvo aeronáutico
Radiolocalización S5.433	Radiolocalización S5.433

1.1.2.2.2 Bandas de frecuencias

Las bandas de VHF, UHF, y en particular la banda L son usadas generalmente para comunicaciones móviles con ancho de banda limitado; la banda S también es empleada para comunicaciones móviles y ciertos servicios de recepción de TV; la banda L y la banda S tienen frecuencias centrales de 1.5 y 2 GHz, respectivamente, pero su ancho de banda disponible es muy pequeño a comparación de las bandas superiores (Neri, 2003, p. 128).

Las bandas C y Ku son empleadas por los satélites comerciales.

En la tabla 4 se detallan las principales características y servicios para las diferentes bandas mencionadas.

Tabla 4. Resumen de las bandas de frecuencia asignadas para los servicios FSS y BSS.

Banda	Enlace Ascendente (GHz)	Enlace Descendente	Servicio
C: 6/4 GHz	5,925-6,425 (500 MHz)	3,7-4,2 (500 MHz)	FSS ^a
X: 8/7 GHz	7,900- 8,400 (500 MHz)	7,250-7,750 (500 MHz)	Comunicaciones Militares
Ku: 14/12 GHz	14-14,5 (500 MHz)	11,7-12,2 (500 MHz)	FSS
Ku: 17/12 GHz	17,3-17,8 (500 MHz)	12,2-12,7 (500 MHz)	BSS ^b
Ka: 30/20 GHz	27,5- 31 (3500 MHz)	17,7-21,2 (3500 MHz)	FSS
Q/V:50/40 GHz	47,2- 50,2 (3000 MHz)	39,5-42,5 (3000 MHz)	FSS

- a. FSS: Fixed Satellite Service
- b. BSS: Broadcast Satellite Service

1.1.2.2.3 Comparación entre las bandas C y Ku

Las frecuencias para la transmisión y recepción influyen para aumentar o disminuir el valor de las pérdidas en propagación. Durante el trayecto que le toma a la señal para llegar al receptor se presentan varias pérdidas consecuencia de:

- Pérdidas por propagación en el espacio libre
- Pérdidas consecuencia de la absorción atmosférica
- Pérdidas por atenuación debida a las lluvias

Pérdidas en el espacio libre

En el espacio libre no hay pérdida de energía pero si existe la atenuación debido a la dispersión de las ondas (Blake, 2002, p.520).

La señal que es irradiada desde la Tierra; al recorrer miles de kilómetros sufre pérdidas por atenuación en el espacio libre, las que son calculadas de acuerdo a la ecuación 1.

$$L_p = 92,44 + 20\log(d)[\text{Km}] + 20\log(f)[\text{GHz}]$$

(Ecuación 1)

O también se puede utilizar la ecuación 2.

$$L_p = (4\pi d/\lambda)^2$$

(Ecuación 2)

Donde:

d= Distancia entre la estación terrena y el satélite.

Con el fin de comparar las pérdidas en el espacio libre para las bandas C y Ku en *uplink* (enlace de subida) y *downlink* (enlace de bajada), se realizaron los

cálculos respectivos reemplazando las frecuencias de operación en la ecuación 1.

Los resultados se detallan a continuación en la tabla 5 y servirán a futuro para determinar la banda de frecuencia con la cual se llevará a cabo el presente trabajo.

Tabla 5. Comparación entre las pérdidas en el espacio libre para las bandas C y Ku.

Banda	Frecuencia de transmisión (dB)	Atenuación en el espacio libre (dB)	Frecuencia de recepción (GHz)	Atenuación en el espacio libre (dB)
C	5,925 GHz	259,02	3,700	254,93
Ku	14,00 GHz	266,49	11,700	264,93
Diferencia		7,47 dB	Diferencia	10 dB

De acuerdo con lo demostrado mediante los cálculos respectivos, se determina que la banda C es menos propensa a padecer atenuaciones en el espacio libre, ya que la frecuencia de operación es directamente proporcional a la distancia y a la atenuación.

Pérdidas por absorción atmosférica

En comunicaciones por satélite es frecuente la presencia de pérdidas producto de la absorción atmosférica. Estas pérdidas se producen cuando los gases encontrados en la atmósfera interactúan con las señales electromagnéticas. Esto ocasiona una reducción de la potencia de las señales conforme atraviesan la atmósfera y aumentan a nivel de las frecuencias de resonancia de vapor de agua (H₂O), Oxígeno (O₂) y Bióxido de Carbono (CO₂) (enabierto, s.f.).

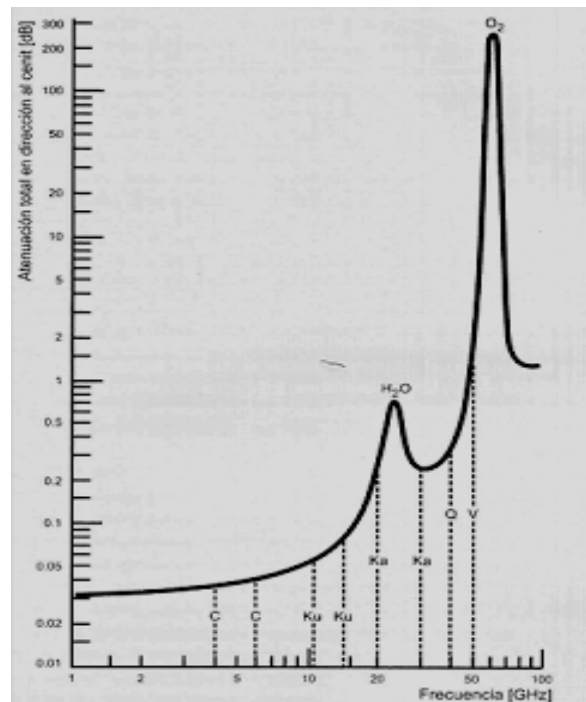


Figura 2. Atenuación atmosférica bandas C y Ku
Tomado de enabierto, s.f.

En comunicaciones satelitales la frecuencia es proporcional a las pérdidas por absorción atmosférica. La banda C es menos propensa para éste tipo de pérdidas.

La Tabla 6 detalla las atenuaciones por absorción atmosférica en las bandas C y Ku.

Tabla 6. Atenuación por absorción atmosférica para las bandas C y Ku.

Banda de frecuencias	Frecuencia (GHz)	Pérdida por absorción atmosférica (dB)
Banda C enlace de subida	4	0.0371
Banda C enlace de bajada	6	0.0408
Banda Ku enlace de subida	12	0.636
Banda Ku enlace de bajada	14	0.0791

Pérdidas por atenuación de la lluvia

Las ondas electromagnéticas que atraviesan la lluvia son atenuadas debido a que las gotas de agua absorben energía al ser calentadas por la señal de microonda. Es decir la longitud de onda se puede comparar al tamaño de las gotas de agua y mientras más lo sea, más severo es el efecto. La atenuación por lluvia es mayor para la banda Ku que para la banda C.

En la tabla 7 se muestra la longitud de onda para las bandas C y Ku en presencia de lluvias (enabierto, s.f.).

Tabla 7. Bandas de frecuencia y longitudes de onda en presencia de lluvia.

Bandas de frecuencia	Frecuencia	Longitud de onda
Banda C	6 GHz	$\lambda = 2 \text{ cm}$
Banda Ku	12 GHz	$\lambda = 5 \text{ cm}$

De igual manera, parte de la energía es dispersada al chocar con la lluvia, mientras más pequeña sea la longitud de onda, más se asemejará al tamaño de una gota de agua y se tendrán grandes pérdidas (enabierto, s.f.). La atenuación por causa de la lluvia se puede calcular en función de la intensidad de lluvia en una zona geográfica específica.

Para determinar la atenuación por lluvias en las bandas C y Ku se utiliza el gráfico ilustrado en la figura 3, el cual divide al planeta en zonas de acuerdo a la cantidad de lluvias y porcentaje de disponibilidad del enlace. Después se calcula gráficamente las pérdidas por lluvias utilizando el denominado diagrama de CCIR el cual se detalla en la figura 5.

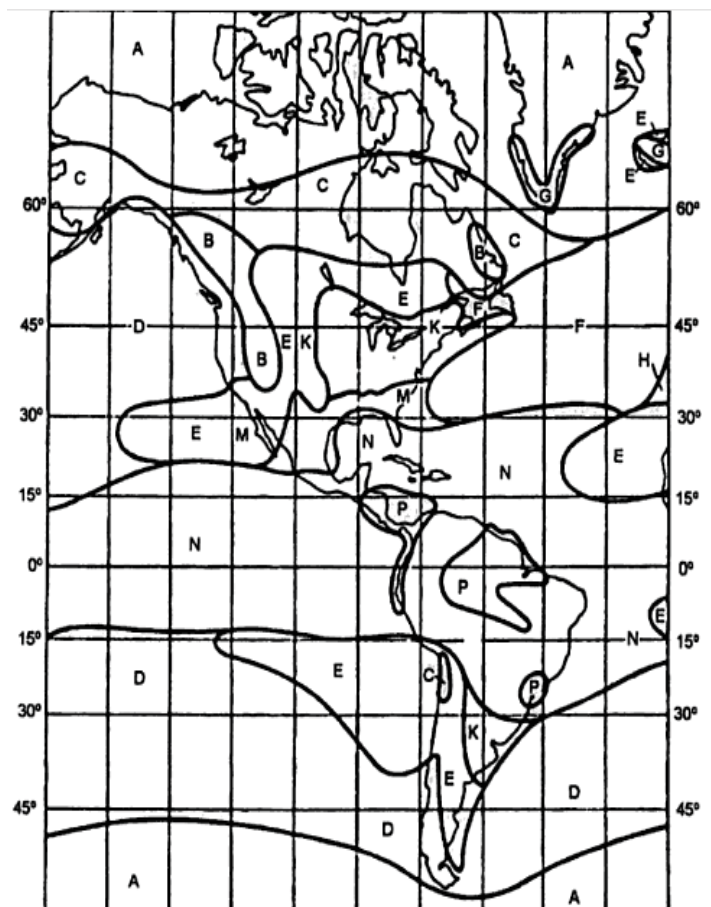


Figura 3. División mundial por zonas lluviosas

Tomado de Neri Vela, 2003, p.266.

En el gráfico se puede observar que el Ecuador se ubica entre las zonas P y N.
 En la figura 4 ilustra la intensidad de lluvia y la disponibilidad al año.

Porcentaje del tiempo excedido en un año (%) y equivalencia en minutos acumulados	Intensidad de lluvia que es excedida (mm/h)														
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	
0.1	526	2	3	5	8	6	8	12	10	20	12	15	22	35	65
0.01	53	8	12	15	19	22	28	30	32	35	42	60	63	95	145
0.001	5.3	22	32	42	42	70	78	65	83	55	100	150	120	180	250

Figura 4. Intensidad de lluvia por zonas meteorológicas.

Tomado de Neri Vela, 2003, p.267.

Se puede observar que para la zona N la precipitación es de 180 mm/h a una disponibilidad de 99.99% del enlace; en tanto para la zona P es de 250 mm/h a la misma disponibilidad, entonces con ese valor se determina en la figura 5 la atenuación para las bandas C y Ku.

En el gráfico se puede ver claramente que la banda C es menos propensa a las atenuaciones por causa de la lluvia.

Las flechas en color rojo corresponden a las atenuaciones en la zona N para las bandas C y Ku. Las flechas en color verde corresponden a las atenuaciones en la zona P. de éste gráfico se obtiene la tabla 8.

Tabla 8. Comparación entre las bandas C y Ku y atenuación por lluvias.

Banda	Frecuencia	Zona	Atenuación
C	4 GHz	N	0,2 dB/Km
Ku	12 GHz	N	10 dB/Km
C	6 GHz	P	1,9 dB/Km
Ku	14 GHz	P	16 dB/Km

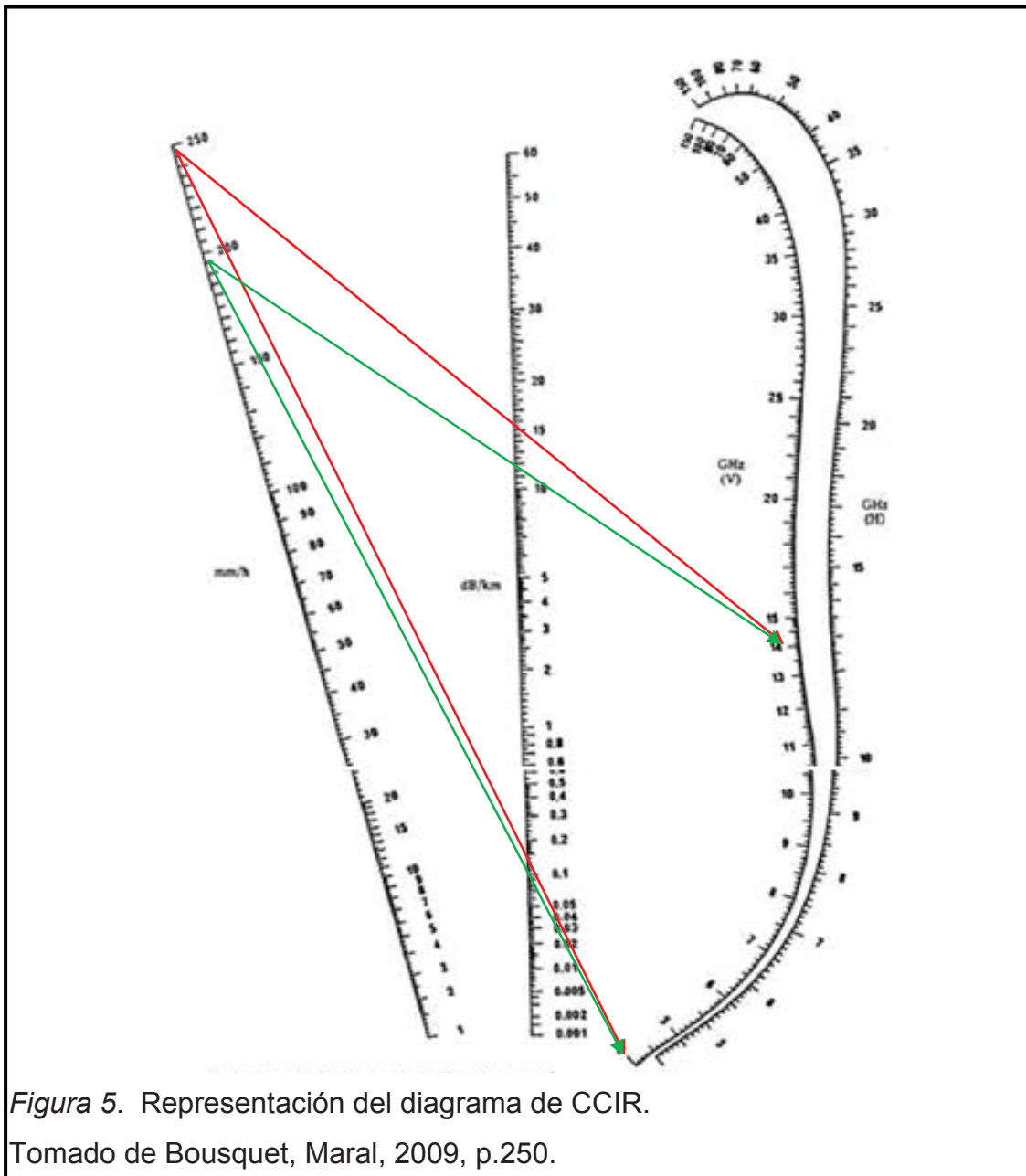


Figura 5. Representación del diagrama de CCIR.

Tomado de Bousquet, Maral, 2009, p.250.

Por otro lado, analizando el tamaño de los terminales, la banda Ku permite el uso de antenas reducidas, son más económicas y estéticas que las utilizadas en banda C, las cuales llegan hasta los 3.8 m de diámetro.

Una desventaja que presenta la banda Ku es el costo de los equipos. Al ser muy susceptible a condiciones ambientales severas tales como lluvias, la instrumentación requiere equipos con potencias elevadas y más complejos para compensar esa falta de robustez ante esas situaciones meteorológicas.

En cuanto a los costos, los sistemas en banda Ku (decodificadores), son más costosos debido a la complejidad de sus tarjetas y amplificadores. La cobertura de la banda Ku es reducida debido al tamaño de sus antenas y al factor interferencia.

1.1.3 Tipos de órbitas satelitales

1.1.3.1 LEO (Órbitas Terrestres de Baja Altura)

Los satélites LEO tienen órbitas polares, se encuentran entre los 500 y 2000 Km de altura con respecto a la superficie terrestre, tienen un período de rotación de 1,5 a 2 horas. Poseen una velocidad de 20.000 a 25.000 Km/h.

Un sistema LEO tiene cobertura mundial para telefonía celular. Debido a que se encuentran próximos a la superficie terrestre, el tiempo de propagación de ida y vuelta de la señal es menor que 20 ms, aceptable para telefonía (Coimbra, 2010).

Constelaciones de satélites LEO:

- Iridium: 66 satélites
- Globalstar: 48 satélites
- Teledesic: 288 satélites (Sistema multimedia banda Ka)

1.1.3.2 MEO (Órbitas Terrestres de Media Altura)

Satélites encontrados a una distancia entre 10.075 y 20.150 Km. Su posición relativa con respecto a la Tierra no es fija. Debido a su menor altitud es necesario un mayor número de satélites para cubrir la superficie terrestre, utiliza 24 satélites en 6 órbitas, pero se reduce la latencia del sistema en forma

significativa. En la actualidad no existen muchos satélites en órbitas MEO y se los utiliza básicamente para posicionamiento (GPS).

La posición de los satélites en cada órbita está diseñada de forma que, en cualquier instante 4 satélites sean visibles desde cualquier punto de la Tierra.

1.1.3.3 GEO (Órbitas Terrestres Geosíncronas)

También conocida como órbita de Clarke, en honor al escritor Arthur Clarke. La órbita GEO está situada a 35.848 Km de altura con una latitud de 0 grados, es decir, situada sobre el Ecuador. El período de ésta órbita es de 24 horas y por lo tanto está siempre sobre la misma posición relativa a la Tierra. En la actualidad la mayoría de satélites son GEO (Coimbra, 2010).

En ésta órbita se precisan de una menor cantidad de satélites para proporcionar cobertura a la totalidad de la superficie terrestre; un satélite cubre el 1/3 de la superficie terrestre, pero poseen un retardo de 0,24 segundos por día, de ahí se concluye que no tarden un día entero para cubrir una vuelta entera a la Tierra debido al camino de ida y vuelta que debe recorrer la señal. Los satélites GEO necesitan obtener unas posiciones orbitales específicas alrededor del Ecuador para mantenerse lo suficientemente alejados unos de otros (aproximadamente 2 grados) para evitar posibles interferencias entre satélites.

1.1.4 Cinturones de Van Allen

El ambiente en el cual se encuentran los satélites en su órbita es aerodinámicamente perfecto, sin embargo, se encuentran totalmente desprotegidos frente a rayos ultravioletas y otras radiaciones, y frente a partículas veloces y meteoritos al no contar con el escudo atmosférico (García de Angulo, 1989, p.33).

Existen campos energéticos de forma toroidal que rodean la Tierra, se componen por protones y electrones que se mueven en espiral a través de los polos magnéticos del planeta Tierra, éstos conforman los denominados cinturones de Van Allen, uno exterior y el otro interior. El cinturón interior se ubica entre los 1.500 a 5.000 Km por encima de la superficie terrestre.

Los satélites LEO deben estar debajo de los 1.500 Km para no entrar en éste cinturón de radiación, el cual puede ser perjudicial e incluso los puede destruir. El cinturón exterior se extiende entre los 15.000 y 20.000 Km, no afecta a las órbitas MEO y GEO (Coimbra, 2010).

A mayor altura de los cinturones, la plasmosfera presenta un plasma de energía relativamente baja. Los satélites geoestacionarios orbitan en la magnetosfera externa, por encima de estos anillos y de la plasmosfera. (García de Angulo, 1989, p.33). En la figura 6 se puede observar gráficamente los cinturones de Van Allen y su distancia con respecto a la Tierra. Se puede ver con claridad que a 36.000 Km por encima de la superficie terrestre no generan ningún tipo de influencia.

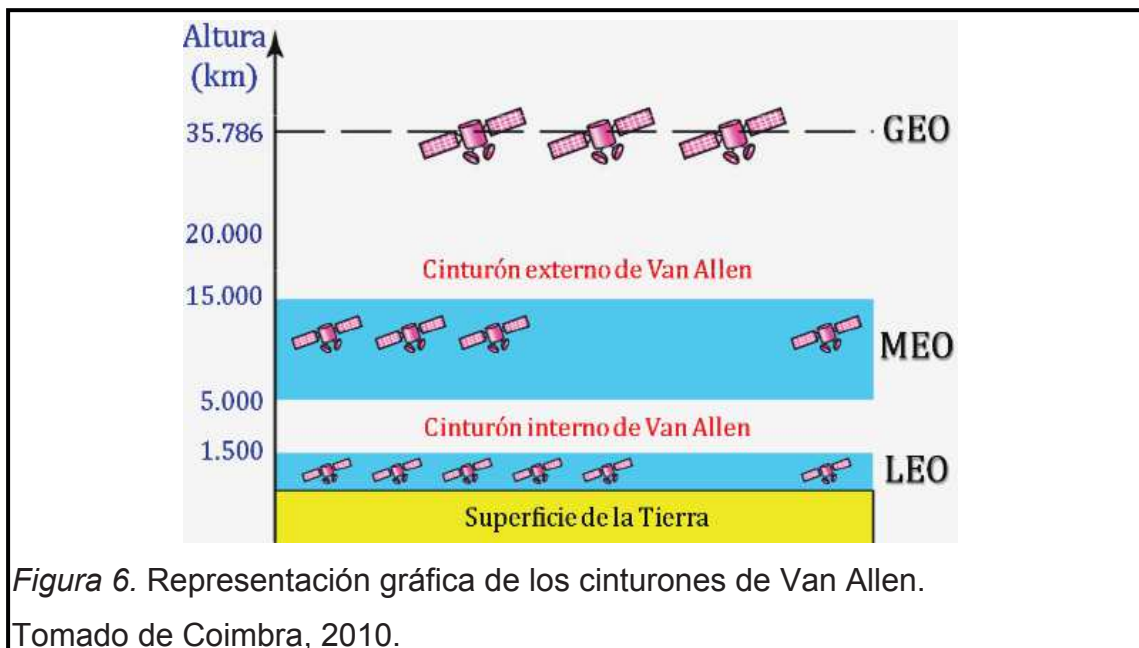


Figura 6. Representación gráfica de los cinturones de Van Allen.

Tomado de Coimbra, 2010.

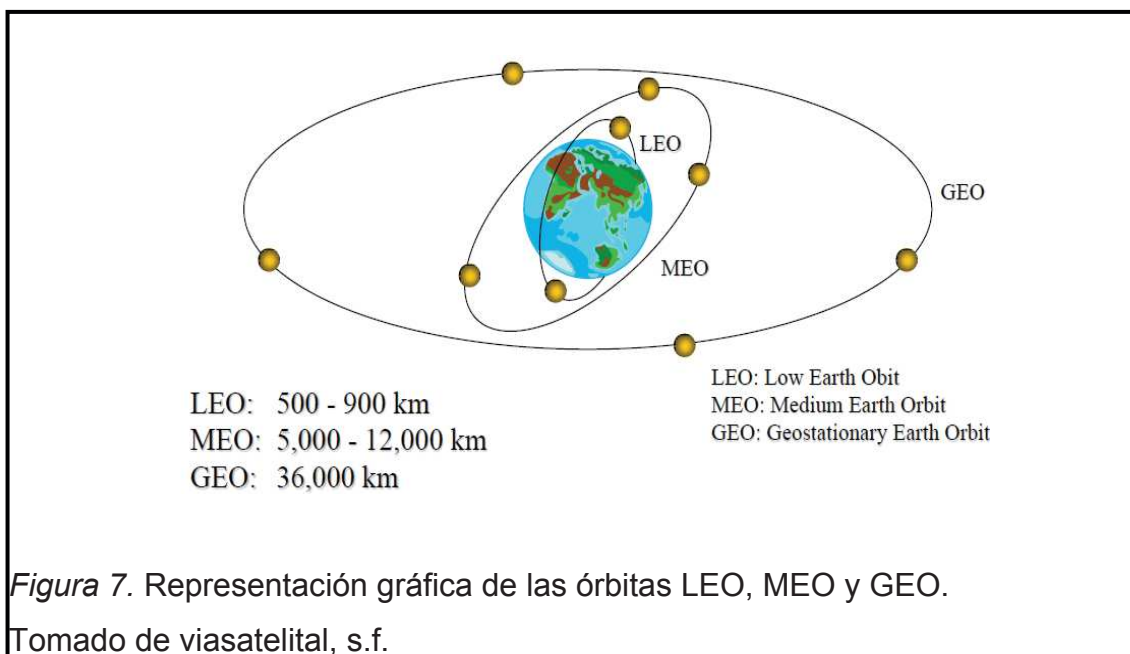
En la tabla 9 se detallan las principales características de las órbitas satelitales mencionadas.

Tabla 9. Comparación entre órbitas LEO, MEO y GEO

ÓRBITA	Número de satélites	Pérdida de señal L (dB)	Retardo de propagación en el espacio (ms)
LEO	66	58	25
MEO	12	181	35
GEO	4	192	120

Se puede observar que la pérdida de señal (L) es menor en la órbita LEO debido a la distancia más próxima que tiene hacia la superficie terrestre.

La figura 7 ilustra la distribución de las órbitas satelitales, la ubicación de cada una de ellas y su altura desde la superficie terrestre.



1.1.5 Satélites Geoestacionarios

Son satélites que poseen órbitas circulares, que, medidas desde el cénit, tienen una altura de 35.786 Km. Esta distancia es válida para las estaciones terrestres ubicadas en el ecuador; para las que se encuentran en latitudes más altas, las distancias son del orden de los 41.000 Km (Fusario, Castro, 1999, p.490).

Las características de los satélites geoestacionarios son las siguientes:

- Tienen un período de rotación igual al de la Tierra, permanecen fijos en el espacio respecto de un observador terrestre.
- Para proporcionar un servicio continuo de comunicaciones basta un solo satélite; siempre que se quieran unir dos puntos vistos por el mismo.
- Requieren potencias mayores de transmisión para su funcionamiento, lo que implica el uso de antenas parabólicas más costosas, y amplificadores de bajo ruido. Esto se debe a que la densidad de potencia de la onda electromagnética disminuye con el cuadrado de la distancia recorrida; por lo tanto, la señal que llega a los receptores es de muy bajo nivel.

1.1.5.1 Posicionamiento de un satélite GEO

La ubicación de un satélite se la realiza en términos de latitud y longitud, al igual que se lo realiza para un punto en la superficie de la Tierra. Se especifica por un punto en la superficie de la Tierra directamente bajo el satélite. A este punto se lo denomina Punto de Subsatélite SSP.

En la figura 8 se muestra la manera de realizar el posicionamiento de un satélite con respecto a un punto.

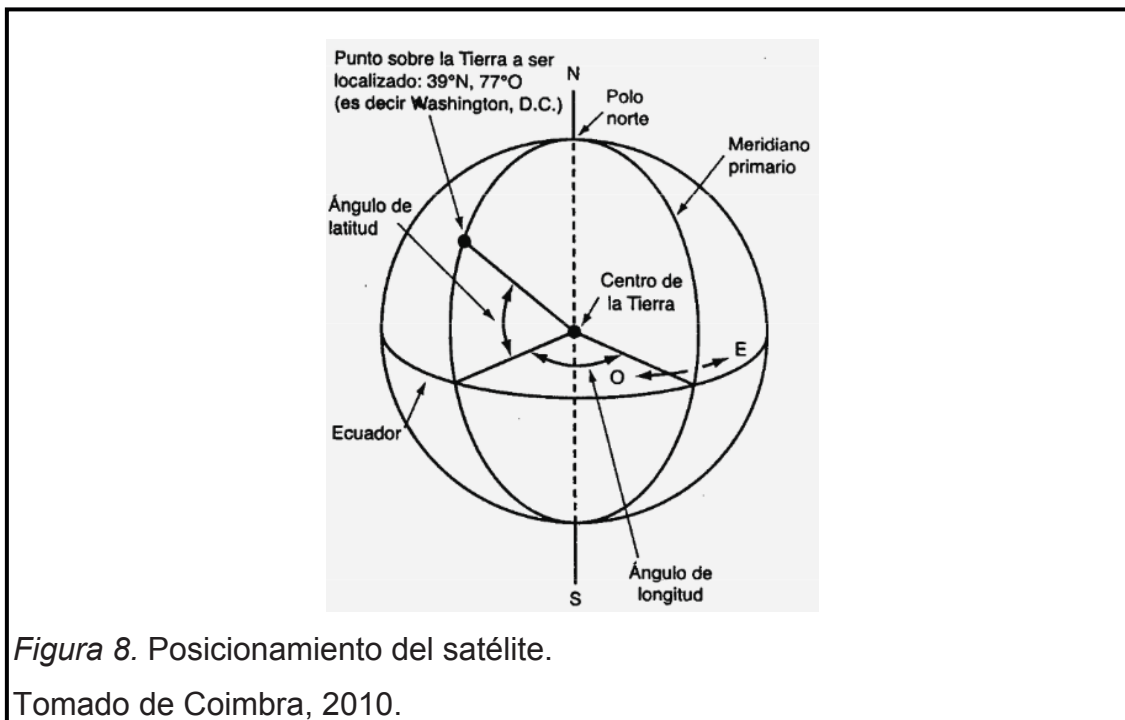


Figura 8. Posicionamiento del satélite.

Tomado de Coimbra, 2010.

1.1.6 INTELSAT

El desarrollo de las tecnologías satelitales ha significado un avance en el campo de las telecomunicaciones. Mediante el uso de un satélite es posible establecer la comunicación hacia cualquier parte del mundo en fracciones de segundos.

Dentro de este campo, han surgido empresas destinadas a proveer servicios satelitales para llevar tráfico de voz, datos y video. La mayor parte de los países en el mundo entero utilizan los servicios suministrados por INTELSAT (Organización Internacional de Telecomunicaciones por Satélite).

INTELSAT inició sus operaciones en 1965, en principio fue un pequeño consorcio. En la actualidad lo conforman 130 países, la mayor parte de ellos forman parte de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).

Esta organización posee y opera una numerosa flotilla de satélites sobre los océanos Pacífico, Atlántico e Índico, constituyendo el sistema de satélites comerciales más extenso del mundo. De conformidad con el acuerdo establecido por INTELSAT, 180 países son los beneficiarios de los servicios internacionales públicos de telecomunicaciones sin discriminación alguna y al costo más bajo posible. Más de 30 países utilizan el segmento espacial de INTELSAT para cursar servicios nacionales (INTELSAT, s.f.).

1.1.6.1 Zonas de cobertura INTELSAT

Región del Océano Atlántico (AOR)

Abarca las Américas, el Caribe, Europa, Medio Oriente, India y África con satélites orbitales ubicados entre los 304,5°E y 359°E.

Región del Océano Índico (IOR)

Abarca Europa, África, Asia, Medio Oriente, India y Australia con satélites en posiciones orbitales desde los 33°E hasta los 66°E.

Región del Océano Pacífico (POR)

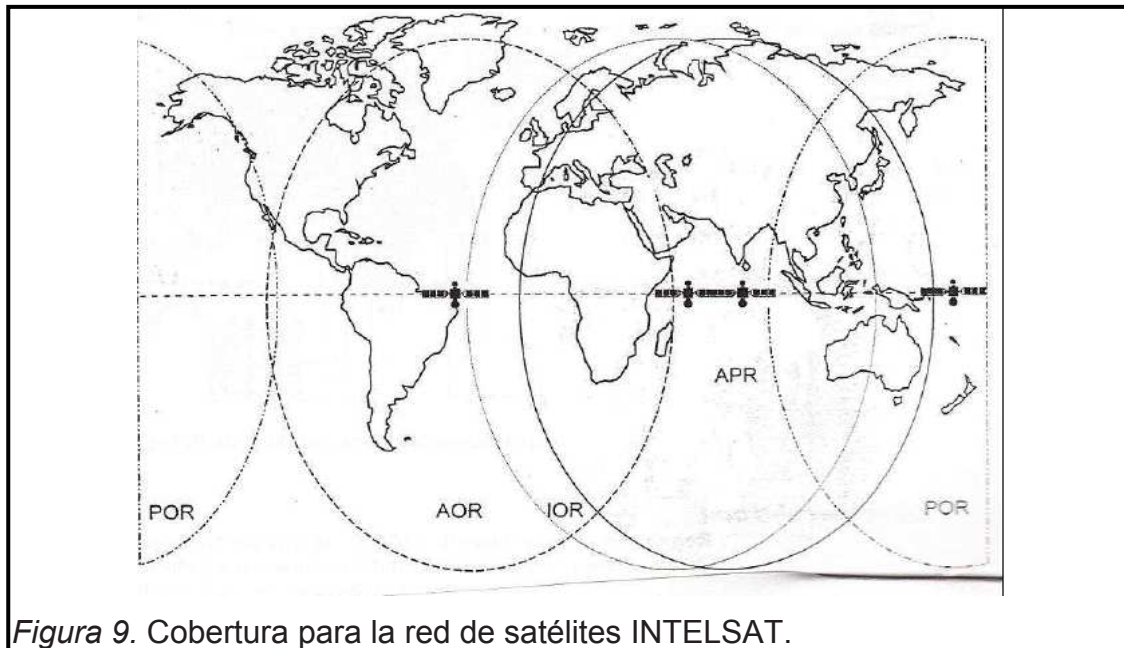
Abarca Asia, el arco del Pacífico de Australia y la parte occidental de América del Norte, con satélites ubicados entre los 174°E y 180°E.

Región del Asia Pacífico (APR)

El servicio de INTELSAT empezó a funcionar en esta región desde 1993 con el satélite 501, actualmente ubicada a los 72°E.

Ofrece una cobertura mejorada del arco occidental del Pacífico, la masa continental asiática, además la totalidad de Europa central y oriental, Japón y Australia (INTELSAT, 1999, p.14).

A continuación en la figura 9 se ilustra la cobertura ofrecida en la actualidad por INTELSAT.



1.1.6.2 Satélites INTELSAT

Desde el origen de la compañía INTELSAT en 1965, el tráfico se mantenido en constante crecimiento, lo cual ha provocado la rápida saturación de la capacidad ofrecida por los satélites. Por este motivo se ha recurrido a la implementación de satélites de mayor tamaño y capacidad.

INTELSAT ha visto la necesidad de lanzar nuevos satélites en órbita, pero para ello ha debido implementar nuevas técnicas con el fin de obtener mayor capacidad en los canales dentro de las limitaciones impuestas por su diseño.

Las principales limitaciones que poseen los satélites INTELSAT son las siguientes:

- El peso máximo que un lanzador puede colocar en órbita.
- El ancho de banda asignado por la UIT para las comunicaciones por satélite, en la actualidad encontrado entre los 875 MHz para banda C y 750 MHz para banda Ku.

- Nivel máximo de potencia en radiofrecuencia (RF) para que no se afecte a los enlaces terrestres vía microonda, que utilizan las mismas frecuencias.

En la Tabla 10 se detallan a los últimos satélites INTELSAT lanzados. (INTELSAT, s.f.).

Tabla 10. Satélites INTELSAT

SATELITE	FECHA DE LANZAMIENTO	PROPÓSITO	BANDA	COBERTURA
Intelsat IS-23 (307°E)	Octubre 2012	Empresas petroleras, aplicaciones de envío de datos	C Ku	EEUU Europa África América Latina
Intelsat IS-21 (302°E)	Agosto 2012	Envío de datos	Ku	Atlántico Sur
Intelsat IS-20 (68,5°E)	Agosto 2012	Telefonía celular	Ku, C	África
Intelsat IS-19 (166°E)	Junio 2012	Envío de datos	Ku, C	Pacífico asiático, Oeste de EEUU
Intelsat IS-22 (72°E)	Marzo 2012	Organizaciones gubernamentales, medios de comunicación, envío de datos.	Ku, C	África, Asia, Europa y Oriente Medio.
Intelsat IS-18 (166°E)	Octubre 2011	Organizaciones gubernamentales.	Ku, C	Región Pacífico
Intelsat IS-28	Abril 2011	Comunicaciones, Envío de datos	Ku, C	África
Intelsat IS-17 (66°E)	Noviembre 2010	Organizaciones gubernamentales.	Ku, C	África, Rusia, Oriente Medio, Europa
Intelsat IS-16 (166°E)	Febrero 2010	Servicio de SKY para Brasil y México	Ku, C	América Latina

1.1.6.3 Telepuertos INTELSAT

Los telepuertos que ofrece INTELSAT son las puertas de acceso para los servicios de transmisión global. Están designados para atender al cliente y ofrecer soporte durante el mantenimiento e instalación de estaciones terrenas. Están estratégicamente ubicados en Europa y EEUU, proveen acceso confiable y eficiente a plataformas de nuevos mercados con costos efectivos, las 24 horas del día durante los 365 días del año.

Los telepuertos de Atlanta, Riverside y Napa son nodos primarios dentro de la red *IntelsatOne*, los cuales sujetan la red IP/MPLS basada en fibra óptica para respaldar el servicio de la Organización.

A continuación en la tabla 11 se describen los telepuertos de INTELSAT, sus principales características y ubicación geográfica (INTELSAT, s.f.).

Tabla 11. Telepuertos INTELSAT (INTELSAT, s.f.)

TELEPUERTO	UBICACIÓN	TAMAÑO	SERVICIO
Atlanta	Ellenwood, GA, EEUU	40.000 pies cuadrados	Conversión SD/HD Uplink/Downlink TV satelital (BBC, NHK, EWTN,MGM)
Castle Rock	Denver, EEUU	4 hectáreas	IntelsatOne, monitoreo de servicios, IOT, TOSS, QoS.
Fillmore	Los Ángeles, EEUU	16.395 pies cuadrados	Monitoreo de QoS Servicio Gubernamental
Fuchsstadt	Nuremberg, Alemania	11,5 hectáreas	IntelsatOne Conversión SD/HD Soporte a clientes
			Soporte a cliente

Riverside	California, EEUU	96,56 kilómetros	Plataformas MCPC Telefonía móvil.
Napa	San Francisco, EEUU	11,2 hectáreas	IntelsatOne VoIP, DTH IDirect, IP trunking.
Paumalu	Hawaii, EEUU	91,86 hectáreas	Broadcast Servicios de monitoreo Cobertura de desastres naturales.
Mountainside	Washington, EEUU	26,3 hectáreas	Plataformas MCPC, VoIP

1.2 Introducción a las Redes VSAT

1.2.1 Concepto de Red VSAT

El término VSAT se refiere a terminal de pequeña apertura (*Very Small Aperture Terminal*), utiliza como medio de apoyo a los satélites para proporcionar gran variedad de servicios de comunicación, tales como: voz, datos, video, etc. El satélite se convierte en un elemento transmisor, receptor.

Con el transcurrir del tiempo el sistema ha ido evolucionando, gracias a la tecnología DVB por satélite y a otros tipos de sistemas de mayor integración, logrando servicios a menor costo del que tenían las redes originales VSAT (viasatelital, s.f.).

1.2.2 Características de una red VSAT

Entre las diversas características de una red VSAT se pueden enumerar las siguientes:

- Redes privadas que son diseñadas para satisfacer las necesidades de las empresas o compañías que requieren sus servicios.
- Capacidad para comunicar sitios remotos sin la necesidad de implementar repetidores.
- El usuario aprovecha las ventajas del satélite en servicios.
- Las antenas instaladas en los terminales tienen un tamaño entre 1.3 y 3.5 metros de diámetro.
- Las velocidades disponibles suelen ser desde los 9,6 Kbps hasta 1 Gbps.
- Permite transmisión de voz, datos y video de forma bidireccional.
- Bajo consumo de corriente y voltaje.
- Movilidad y fácil desmontaje.
- La estación terrena maestra (HUB) tiene una antena entre 4 y 7 metros de diámetro, conmutador de paquetes (los paquetes son la forma en la cual los datos son transmitidos entre los terminales) y control computarizado de la red.
- Gran densidad (1.000 estaciones VSAT) con enlaces asimétricos.
- Satélites artificiales de comunicaciones geoestacionarios son utilizados en este tipo de redes.
- La comunicación vía satélite se la realiza mediante canales de 64 Kbps, los usuarios pueden alquilar varios canales hasta llegar a los 4 Mbps, el máximo aconsejado es de 500 canales por cliente.
- Las frecuencias de operación se sitúan en las bandas K o C, en donde se obtiene una potencia en transmisión desde los 30 dB hasta 60 dB y buena sensibilidad en recepción.

1.2.3 Ventajas de una Red VSAT

- Flexibilidad:
 - Redes fácilmente gestionables.
 - Son servicios independientes de la distancia entre emisor y receptor.

- Cobertura global y rápida.
 - Instalación rápida y relativamente sencilla en sitios donde el acceso es complicado.
 - Redes que pueden adoptar variedad de configuraciones, se adaptan a las necesidades propias de cada compañía.
 - Facilidades de reconfiguración y ampliación de la red.
 - Los enlaces asimétricos se adaptarán de acuerdo con los requerimientos del tráfico de datos entre el terminal de control (HUB) que transmitirá gran cantidad de información hacia estaciones terrenas que responderán con menos cantidad de información.
 - Redes fácilmente reconfigurables, permitiendo una rápida ampliación. El empleo de un satélite permite que un terminal establezca contacto con cualquier otro dentro de su área de cobertura, con esto se logra que los receptores puedan cambiar de ubicación únicamente reorientando su antena. Del mismo modo, al añadir un nuevo terminal se afectará al funcionamiento de los demás nodos.
-
- Fiabilidad:
 - Se suele diseñar una red para obtener una disponibilidad de red del 99.9% de tiempo al año y con un BER de 10^{-7} .
-
- Transparencia:
 - Utilización de diferentes protocolos de transporte y comunicación.
-
- Ventajas Económicas:
 - Estabilidad de los costos de operación de la red durante un largo período de tiempo. Una empresa puede ser propietaria de todos los segmentos de la red. Esto ocasiona que el presupuesto dedicado a comunicaciones se pueda establecer con gran exactitud.
 - Evita las restricciones que impone una red pública en cuanto a costes y puntos de acceso.

- Es posible establecer una red corporativa que no se vea afectada a variaciones en los valores de tarifas.

1.2.4 Desventajas de una Red VSAT

- Desventajas Económicas:
 - Costo elevado inicial y en ocasiones poco competitivos frente a otros sistemas de comunicación. En este caso, se recurre al alquiler del HUB lo que permite ahorrar recursos económicos.
- Problemas Radioeléctricos:
 - Retardo de propagación para doble salto de 500 milisegundos, lo cual puede provocar inconvenientes para cierto tipo de aplicaciones.
 - El punto determinante de la red es el satélite, todo el rendimiento de la misma depende de la disponibilidad del satélite.
 - Interferencias provenientes de la tierra y del espacio.
 - El uso de un satélite tipo GEO permite que cualquier usuario que no esté abonado al servicio pueda acceder a una portadora y de modular la información. Para prevenir que esto suceda es necesaria la encriptación.

Jitter: Variación en el tiempo en la llegada de los paquetes causada por la congestión de red, pérdida de sincronización o por las diferentes rutas seguidas por los paquetes para llegar al destino.

Retardo o Latencia: Definido como el tiempo que le toma a un paquete llegar desde la fuente a su destino final (transmisor a receptor).

Eco: Conocida como la reflexión retardada de la señal original, es molesto cuanto mayor sea el retardo y cuanto mayor sea su intensidad.

En redes con transmisión satelital es propenso tener retardo en la propagación, consecuencia del doble salto que tiene la señal, el primero ocasionado por la transmisión desde la estación terrena hacia el satélite, el segundo ocasionado por la transmisión desde el satélite hacia el HUB.

La figura 10 ilustra el retardo producido en un enlace satelital, el tiempo que recorre la señal desde una estación terrena hacia el satélite de comunicaciones es aproximadamente 250 milisegundos, y el tiempo en que la señal recorre desde el satélite hacia la estación terrena es similar. En totalidad se tiene un tiempo de retardo aproximado de 500 ms. En ocasiones el tiempo de retardo es menor, esto dependerá directamente de la banda (C o Ku) de trabajo en la que se encuentra la red.

Más adelante se determinará cómo se debe calcular este tiempo de retardo.

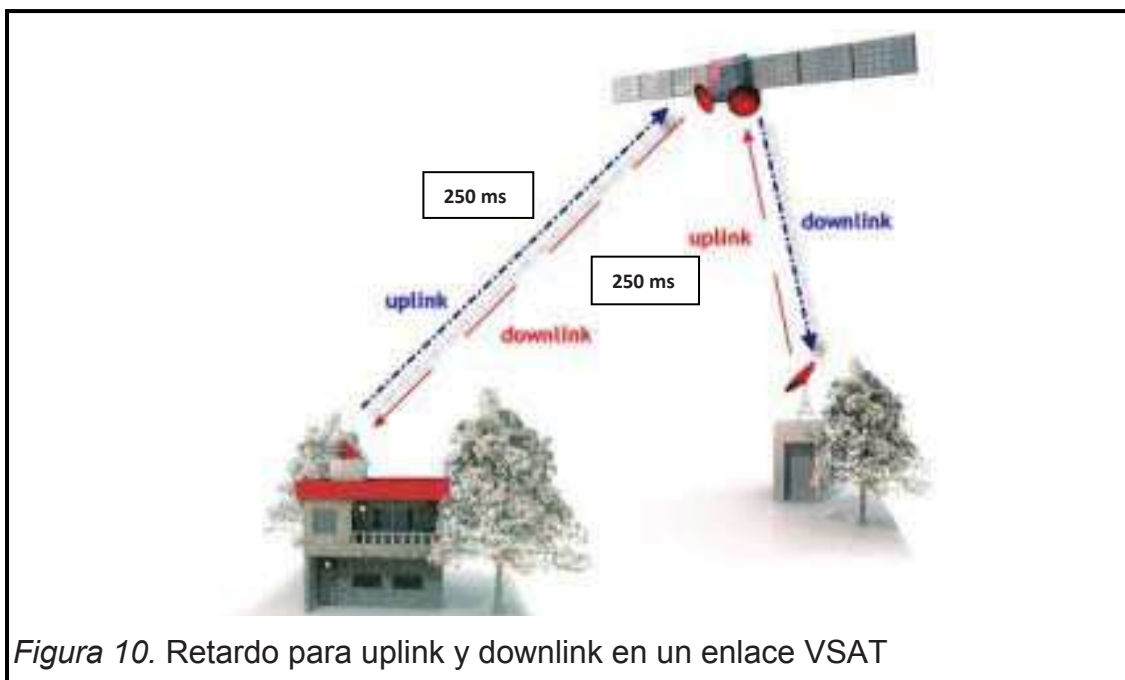


Figura 10. Retardo para uplink y downlink en un enlace VSAT

1.3 Topologías de una Red VSAT

Las VSAT son conectadas por enlaces mediante frecuencias de radio y microonda vía satélite llamados *uplink* (enlace de subida) desde una estación

terrena al satélite y *downlink* (enlace de bajada) desde el satélite a la estación terrena.

Los satélites permiten la comunicación a grandes distancias, recibiendo las portadoras del enlace uplink desde las estaciones terrenas transmisoras, las cuales deberán estar dentro de la zona de cobertura del satélite (huella, pisada o *footprint*); la antena receptora del mismo las amplifica y cambia su frecuencia a una banda más baja para después transmitir las amplificadas.

Un satélite de comunicaciones da cobertura a un sector del globo terrestre, al momento de hacer un diseño de red se debe considerar la pisada del mismo y determinar si cubre el sector a dónde se requiere llevar el servicio.

Mediante la figura 11 se puede observar el esquema típico de una red VSAT y sus componentes principales.

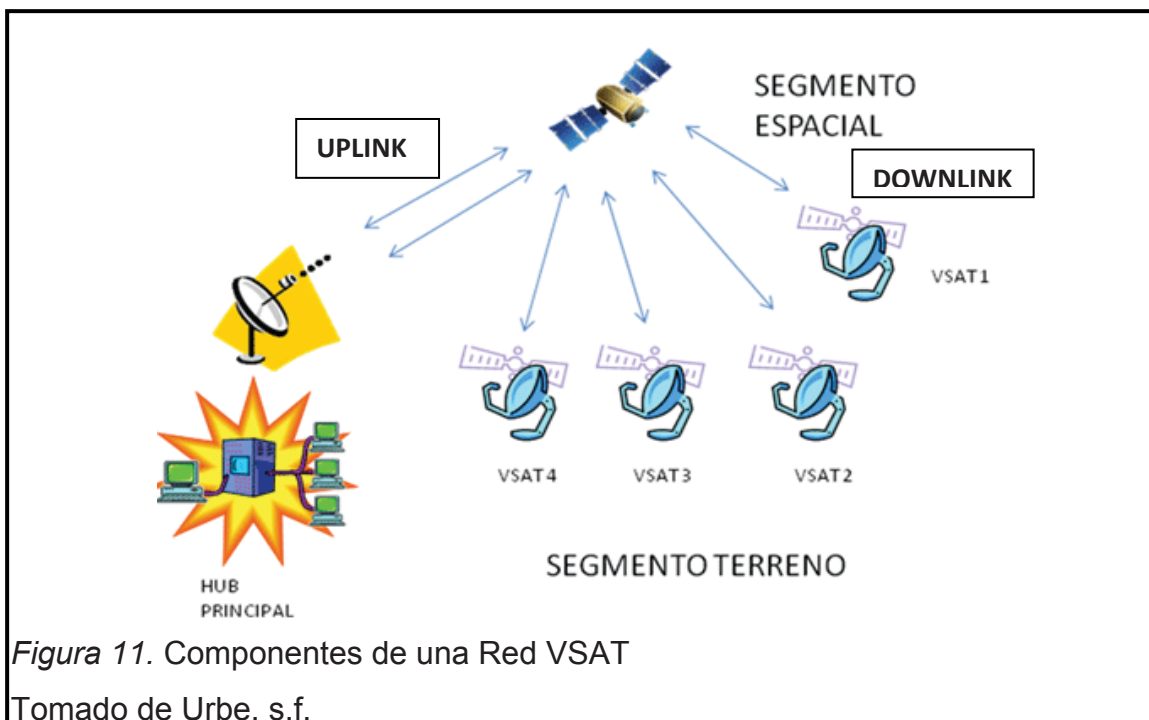


Figura 11. Componentes de una Red VSAT

Tomado de Urbe, s.f.

En cuanto a la topología se tienen dos tipos de configuraciones:

- Configuración en topología Estrella
- Configuración en topología Malla

1.3.1 Topología Estrella

La topología en estrella es configuración más habitual, en ésta la emisión hacia el satélite es realizada por medio de una antena de dimensión mucho más grande que las de los receptores. La estación principal se la denomina Estación Maestra o HUB concentrador y en algunas ocasiones puede servir de enlace (dos saltos) para la comunicación entre estaciones secundarias (Huidobro, 2008, p.173).

Cada terminal VSAT podrá transmitir y recibir un número X de canales, que corresponderán a las conexiones desde los terminales unidos al VSAT. El HUB por su parte, deberá transmitir y recibir ese X número de canales atendiendo a todas las estaciones VSAT (Casado, Camazón, 2010).

El ancho de banda del transpondedor en el satélite se divide en dos:

- *Inbound* (enlaces desde los terminales hacia el HUB)
- *Outbound* (enlaces desde el HUB hacia las VSAT's)

Ésta es la topología ideal para una comunicación punto- multipunto (Huidobro, 2008, p.173).

Entre las principales características de una red con topología estrella se tiene:

- Antenas pequeñas y receptores con sensibilidad limitada
- Limitaciones impuestas por satélites GEO.
 - Atenuaciones de 200 dB.
 - Potencia de emisión limitada del satélite.
- Los enlaces directos entre terminales no cumplen los requisitos mínimos de operación, para esto se utiliza el servicio de una estación terrena que actúe de repetidora (HUB).

Existen dos tipos de configuraciones para las redes de tipo estrella:

- Unidireccionales
- Bidireccionales

Se hace referencia a redes con topología estrella bidireccional cuando las aplicaciones requieren la comunicación entre los terminales VSAT con el HUB y viceversa (*inbounds* y *outbounds*).

Por el contrario, las redes con topología estrella unidireccional, presentan únicamente la comunicación desde el HUB hacia los terminales VSAT (*outbounds*) (UPV, s.f.).

Mediante la figura 12 se puede observar a una red VSAT que funciona con topología estrella. Para este caso particular, el HUB se encontrará en el lado del proveedor, en donde se concentrarán todas las señales para ser retransmitidas al satélite.

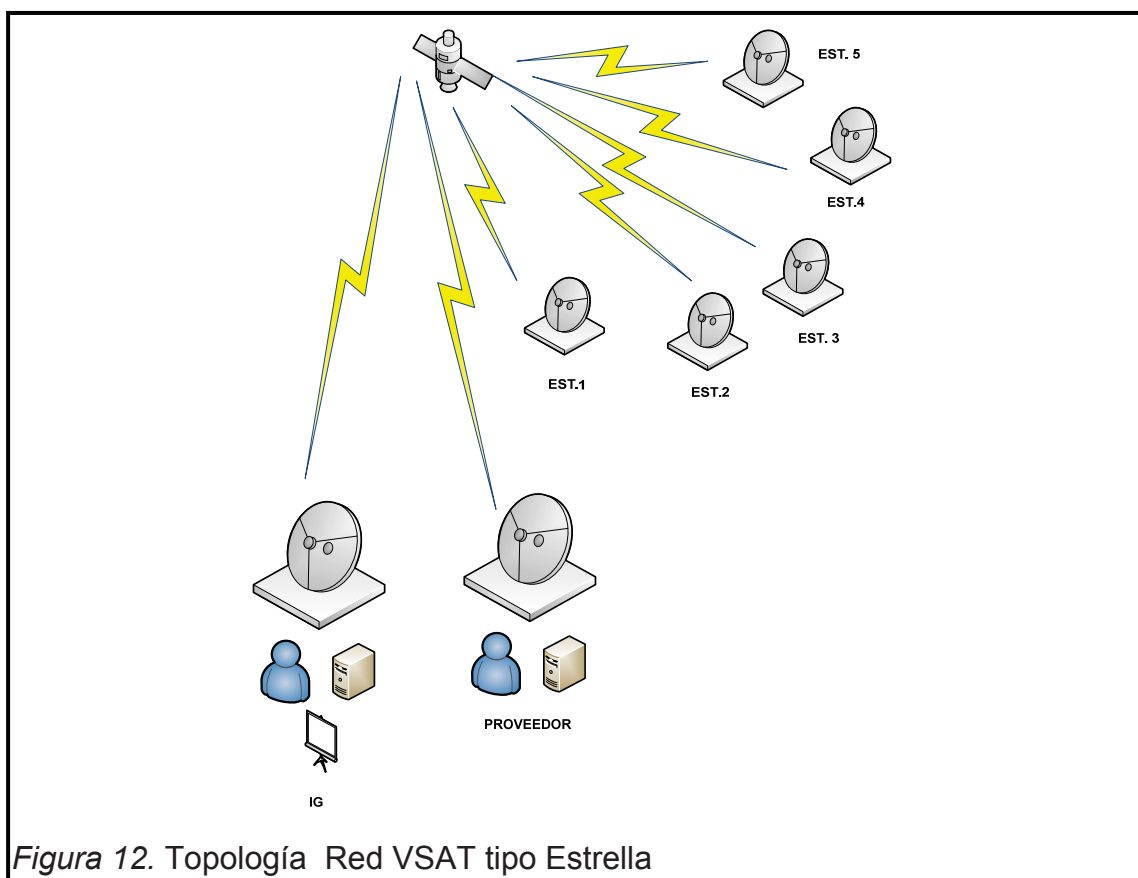
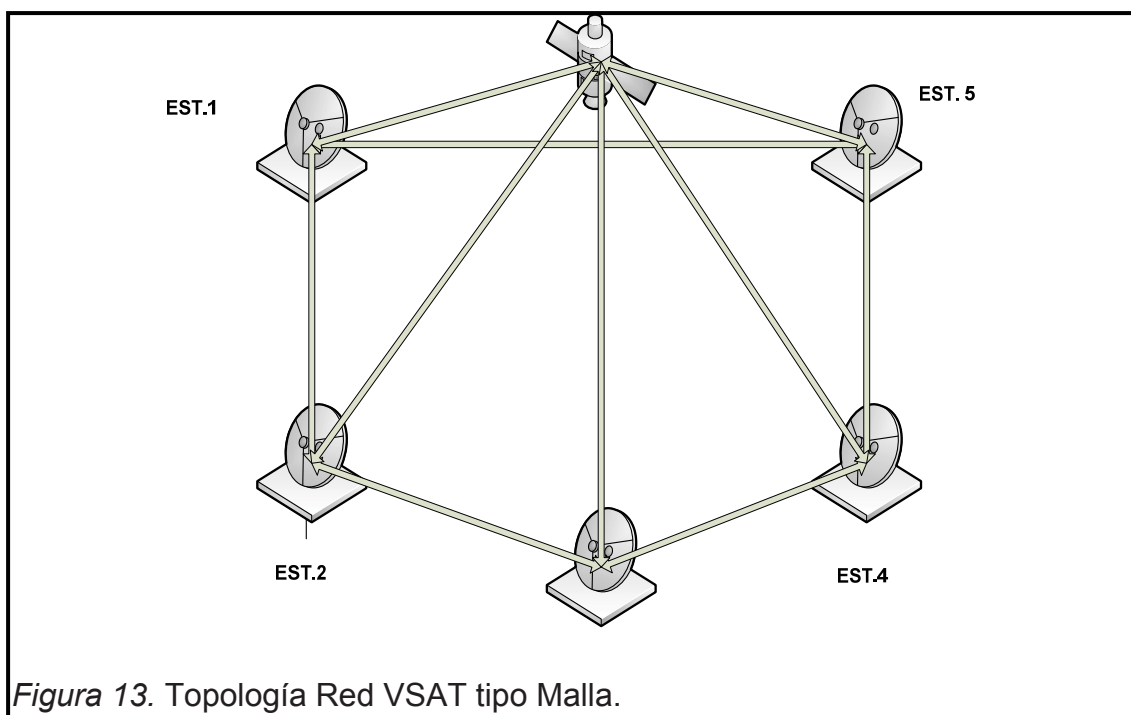


Figura 12. Topología Red VSAT tipo Estrella

1.3.2 Topología Malla

Se habla de configuración en malla cuando los terminales VSAT mantienen comunicación o enlace directo con otro nodo de la red sin necesidad de un HUB como en la topología en estrella, la comunicación se la realiza siempre a través del satélite de comunicaciones. Esto se logra aumentando la dimensión de las antenas o la sensibilidad en los receptores. Por esta razón esta configuración no es muy utilizada porque se requieren mejores VSAT's. Las redes corporativas suelen trabajar con este tipo de configuración.

Mediante la figura 13 se explica con claridad la distribución de los elementos para una red en topología Malla (Casado, Camazón, 2010).



1.4 Elementos de una red VSAT con topología estrella

Un enlace VSAT que trabaja con topología estrella se compone por los siguientes elementos:

- HUB central o estación maestra (proveedor del servicio)
- Estaciones terrenas (terminales VSAT)
- Segmento espacial (satélite de comunicaciones)

En la figura 14 se ilustran los elementos de una red VSAT en topología estrella y las funciones principales que éstos desempeñan.

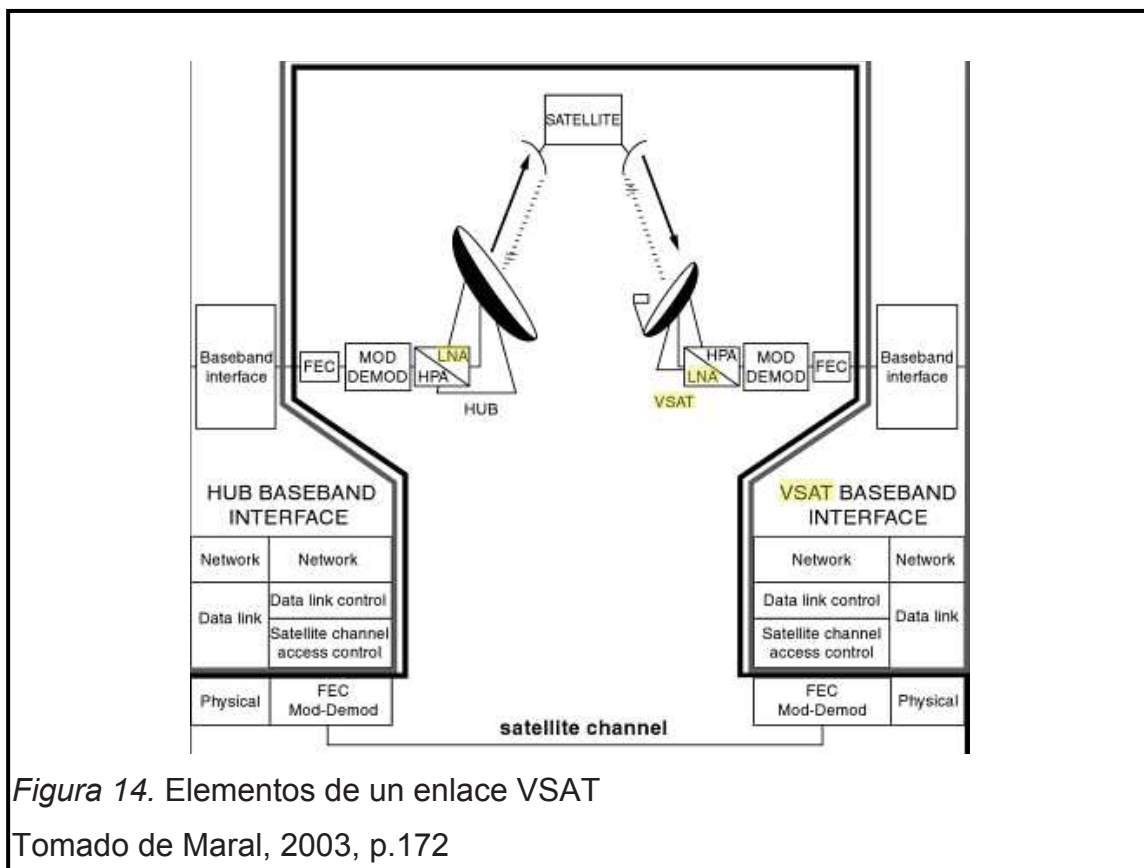


Figura 14. Elementos de un enlace VSAT

Tomado de Maral, 2003, p.172

1.4.1 Hub Central

Las redes en topología estrella poseen un punto central que se denomina HUB, telepuerto o estación maestra. El HUB es una estación satelital terrena con conmutación de paquetes y equipo banda base.

Es otra estación que forma parte de la red, pero con una particularidad, su antena es de mayor tamaño, mide aproximadamente entre 4 y 10 metros de diámetro; manejan HPA's de potencias elevadas, alrededor de 100 vatios.

Habitualmente la estación maestra está situada en el edificio principal de la empresa que utiliza la red o dentro de las instalaciones del proveedor del servicio.

El Hub o estación central se compone por los siguientes elementos:

- Unidad de RF (ODU)
- Unidad Interna (IDU)

A continuación la figura 15 ilustra un diagrama de bloques para el HUB, se puede observar claramente cómo se encuentra constituido.

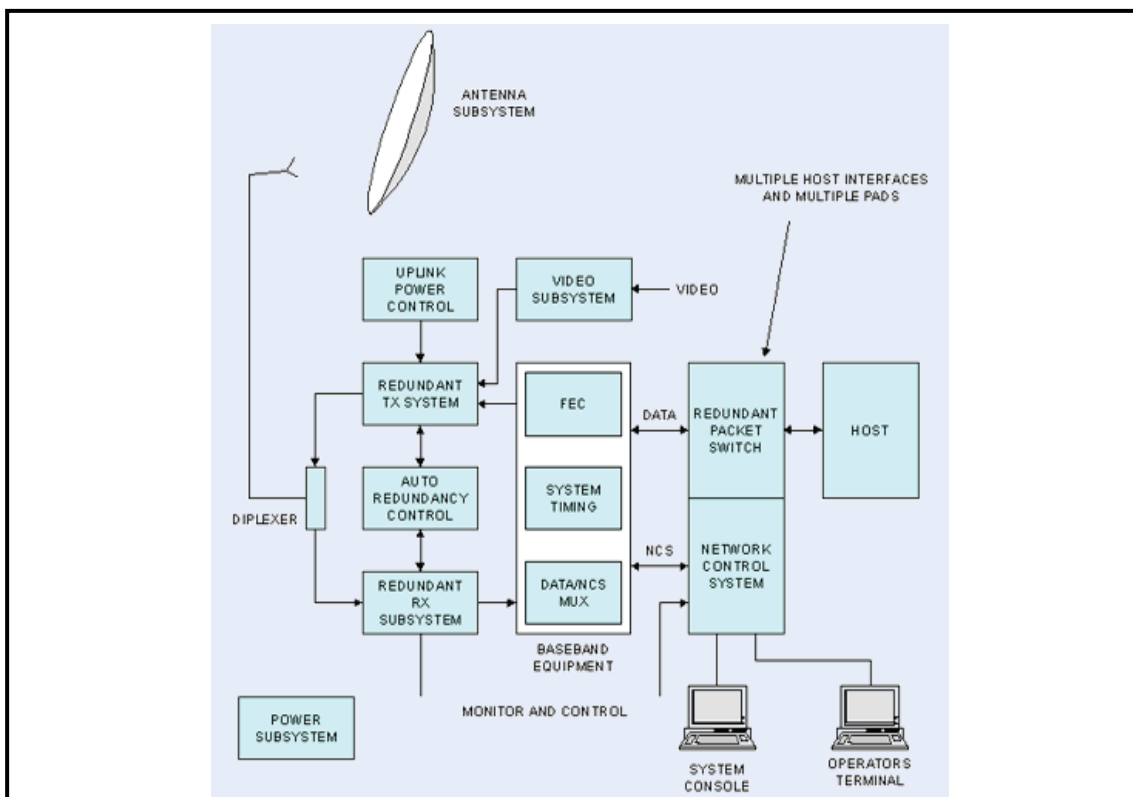


Figura 15. Diagrama de bloques de un HUB

Tomado de (TRA .s.f.)

1.4.1.1 Unidad RF externa (ODU)

La unidad externa RF es la responsable de transmitir y recibir las señales. Es el interfaz entre satélite y VSAT.

Básicamente la ODU está compuesta por los siguientes elementos:

- Antena o plato satelital
- Amplificador de transmisión (BUC)
- Bloque de Bajo Ruido (LNB)
- Alimentador (*Feed Horn*)

1.4.1.1.1 Antena

La antena satelital es el elemento encargado de concentrar las ondas electromagnéticas provenientes del satélite. Es un punto donde se encuentra el alimentador, se recoge la señal y la procesa mediante la unidad RG; ésta a su vez la envía por el cable coaxial hacia el modem satelital (internetporamerica .s.f.).

Existen algunos parámetros relativos a la antena los cuales son de mucha importancia a la hora de evaluar y analizar un enlace VSAT, éstos son:

- Ganancia de la antena
- Directividad de la antena
- Potencia isotrópica radiada efectiva
- Polarización de la antena
- Ancho del Haz
- Eficiencia
- Diagrama de radiación de la antena
- Temperatura de ruido de la antena:

- Temperatura de subida
- Temperatura de bajada

Ganancia de la Antena

Se conoce como ganancia a la cantidad de potencia que irradia la antena en la dirección de máxima radiación. La ganancia (G) es producida por el efecto de un parámetro conocido como directividad, cuando la potencia se concentra en las zonas indicadas en el diagrama de radiación. Se calcula con respecto a una antena de referencia, es decir, se toma en cuenta la antena isotrópica.

La ecuación 2 es utilizada para expresar la ganancia de una antena isotrópica.

$$G = \frac{4\pi A}{\lambda^2} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

A= Area de la superficie equivalente de la antena.

λ = Longitud de onda en el espacio libre.

Para una antena con abertura circular o reflector de diámetro d, la superficie geométrica se la representa por la ecuación 4.

$$A = \pi d^2 / 4 \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$A_{\text{eff}} = \eta A \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

η = Eficiencia de la antena parabólica (0.66)

Reemplazando la ecuación 5 en la ecuación 4 se tiene la ecuación 6 para expresar la ganancia máxima de la antena con respecto a la ganancia de una antena isotrópica.

$$G_{\text{max}} = \left(\frac{\pi d}{\lambda}\right)^2 \quad (\text{Ecuación 6})$$

Directividad de la antena

La directividad de una antena hace referencia a la ganancia directiva, la que se define como la relación entre la intensidad de radiación en una dirección y la intensidad de radiación de una antena de referencia, en este caso al radiador isotrópico. En la práctica, la directividad se determina mediante el uso de un dipolo de $\lambda/3$ (Hernández, 1998, p.37).

En otras palabras, la directividad se define como la capacidad que tiene la antena para concentrar la potencia radiada en cierta dirección (Hernández, 1998, p.37).

Potencia Isotrópica Radiada Efectiva PIRE

Es la potencia de entrada que se necesita en un radiador isotrópico para tener la misma densidad de potencia a la distancia considerada, en la dirección de máxima radiación de la antena real.

En la ecuación 7 se determina la potencia radiada equivalente:

$$\text{PIRE} = 10 \log(\text{PTx})[\text{dB}] + \text{GTx} [\text{dB}] \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde:

PTx= Potencia del HPA

GTx= Ganancia de antena transmisora

Polarización de la antena

Es 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
- Elíptica

Ancho del haz

La abertura del haz de una antena se la denomina en ocasiones ancho del haz de -3 dB, o ancho de haz en el punto de media potencia, o a su vez ancho del lóbulo. La ganancia de la antena es inversamente proporcional al ancho del haz, una antena tiene mayor ganancia cuando su ancho de haz es más estrecho (Tomasi, 2003, p. 383).

El ancho del haz en el punto de media potencia se lo define por la ecuación 7.

$$\theta_{3dB} = 75\lambda/D \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde:

λ = Longitud de onda

D= Diámetro del plato de la antena

Diagrama de radiación de la antena

Un diagrama de radiación es un gráfico polar que representa las intensidades de campo o densidades de potencia en diversas posiciones angulares en relación con una antena. Si la gráfica de radiación se la realiza en términos de campo eléctrico o de densidad de potencia se la denomina gráfica de radiación absoluta (distancia variable y potencia fija). Si se grafica intensidad de campo o densidad de potencia con respecto al valor en algún punto de referencia se la denomina gráfica de radiación relativa (potencia variable y distancia fija) (Tomasi, 2003, p.373).

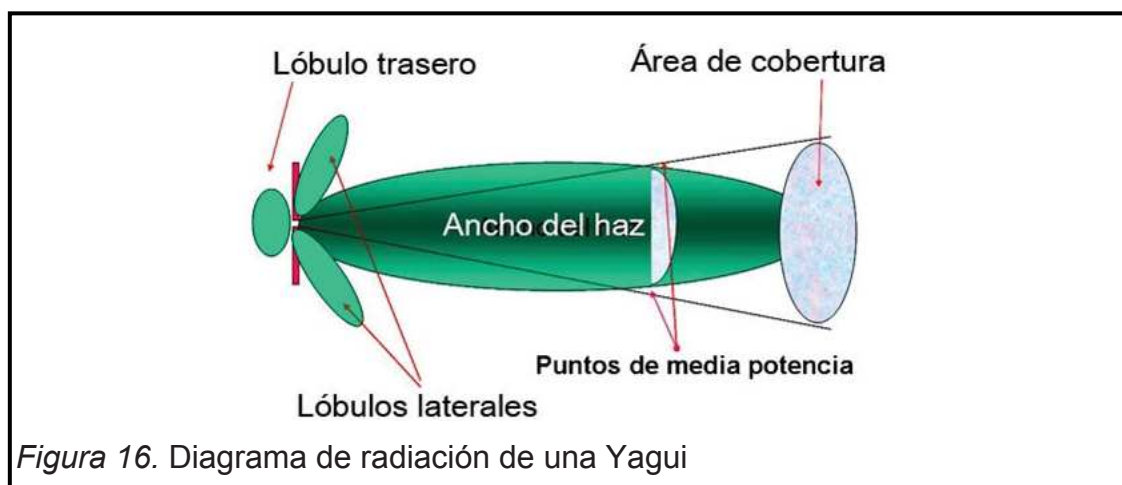
El patrón de radiación es también para la recepción, ya que describe las propiedades de recepción de la antena. El patrón de radiación es tridimensional, pero generalmente las mediciones de los mismos se las realiza en forma bidimensional, ya sea en el plano horizontal o vertical. Estas mediciones son presentadas en coordenadas rectangulares o en polares (Aichele, Flickenger, Fonda, 2007, p.97). La figura 16 ilustra el diagrama de radiación, ancho de haz y punto de media potencia de una antena tipo Yagui.

Eficiencia

Se conoce como eficiencia de una antena a la relación entre la potencia aplicada y la potencia radiada.

Lo que no se irradia (ni se refleja) se pierde en calor.

La eficiencia de las antenas basadas en dipolos y parábolas está muy cerca del de 40% a 80% porque irradian hacia otros lados, el rendimiento contempla lo que irradia la antena hacia adelante.



Temperatura de ruido de la antena

Existen dos tipos de temperaturas de ruido para la antena:

- Temperatura de ruido en el enlace de subida
- Temperatura de ruido en el enlace de bajada

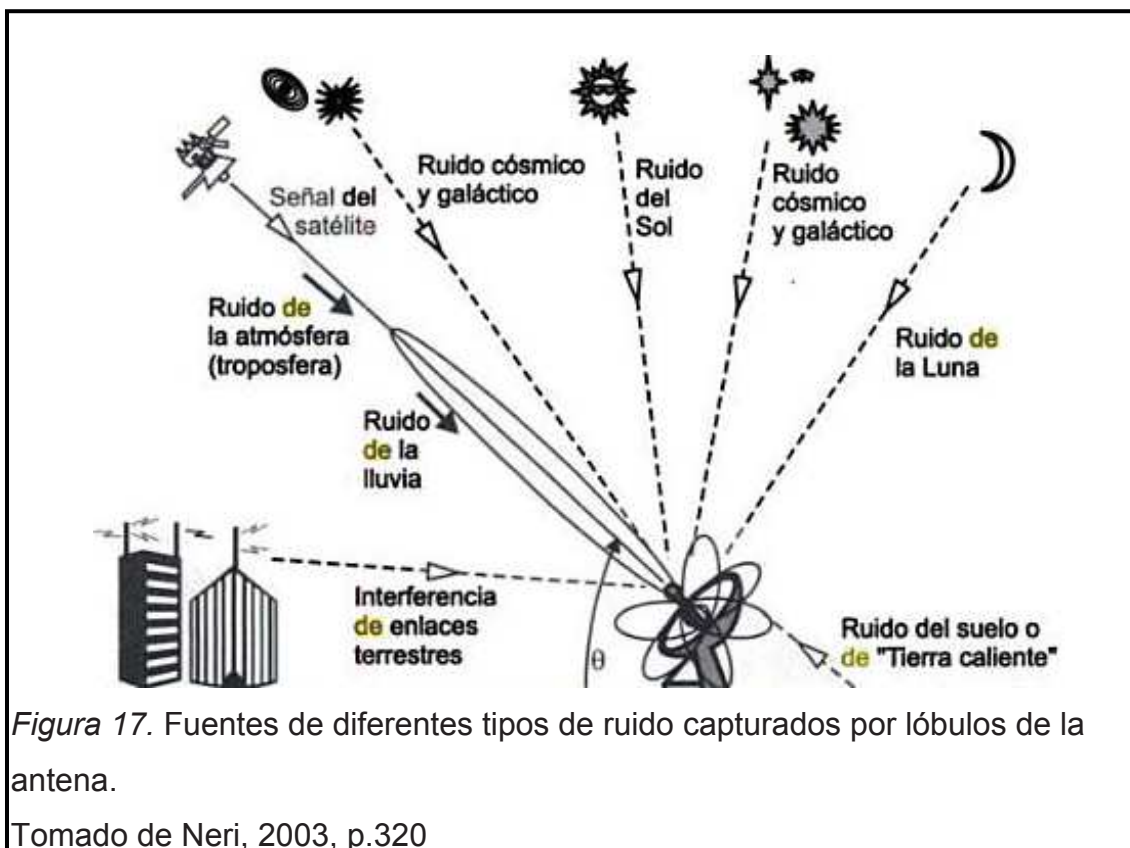
Temperatura de ruido para el enlace de bajada

El ruido de la antena de una estación terrena que captura a través del lóbulo principal y los secundarios de su patrón de radiación, con diferentes intensidades y desde diversas direcciones, puede provenir de varias fuentes, tal como se detalla en la figura 17.

Generalmente, las interferencias que se podrían introducir a través de los lóbulos laterales y el lóbulo posterior pueden ser minimizadas si la antena está bien diseñada; pero si el ángulo de elevación es muy bajo las interferencias terrestres pueden ser significativas (Neri, 2003, p.320).

El denominado ruido cósmico está alrededor de los 2.7 grados Kelvin en frecuencias de radio (RF), proviene de radiaciones residuales que datan desde los orígenes del Universo. En cambio el ruido galáctico es prácticamente nulo para frecuencias mayores a los 4 GHz y por lo tanto despreciable (Bandas C, Ku y Ka).

La magnitud del ruido generado por la tropósfera que se captura través del lóbulo principal de la antena, depende directamente de la frecuencia de operación y del ángulo de elevación del plato satelital. Para ángulos de elevación mayores a 10 grados se encuentra alrededor de 10 grados Kelvin, en las bandas C y Ku más específicamente (Neri, 2003, p.321).



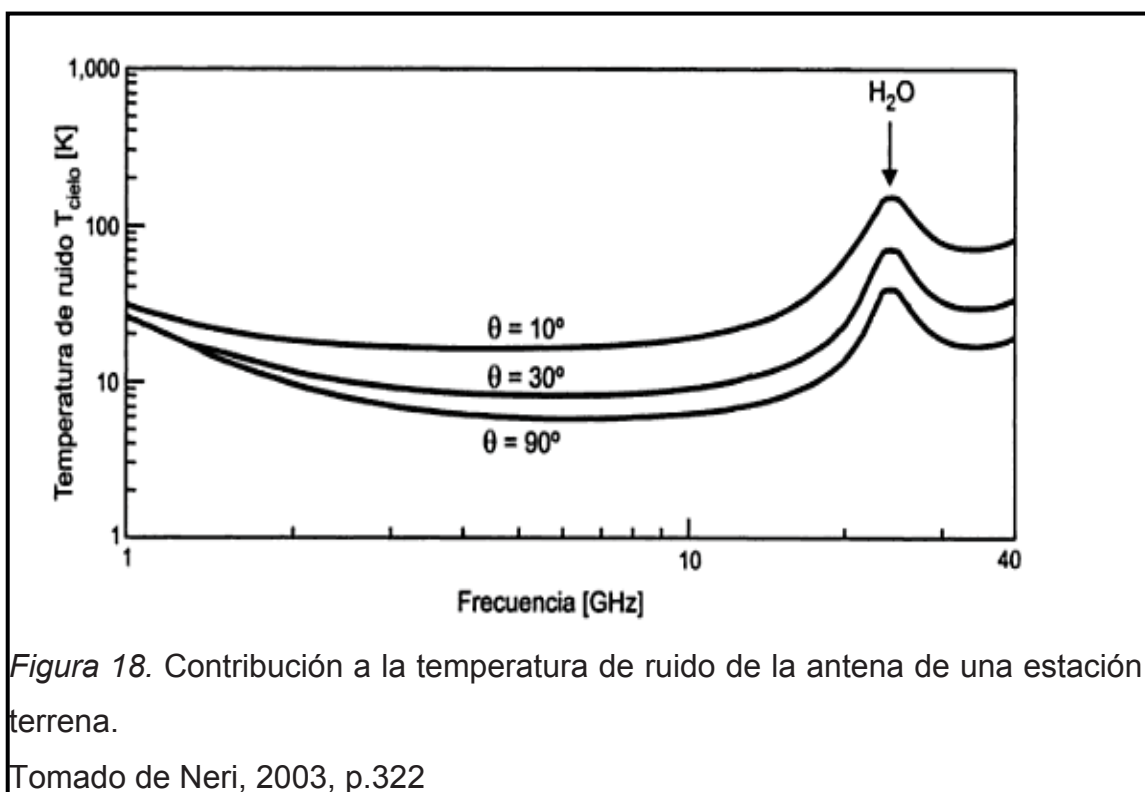
Cuando el cielo está despejado la temperatura de ruido es relativamente baja por el contrario cuando hay presencia de lluvia la misma aumenta considerablemente.

En la figura 18 se proporcionan las curvas correspondientes a la temperatura de ruido combinada, tomando en cuenta la temperatura de ruido cósmico, troposférico y galáctico.

La ecuación 8 expresa la temperatura de ruido para condiciones de lluvia.

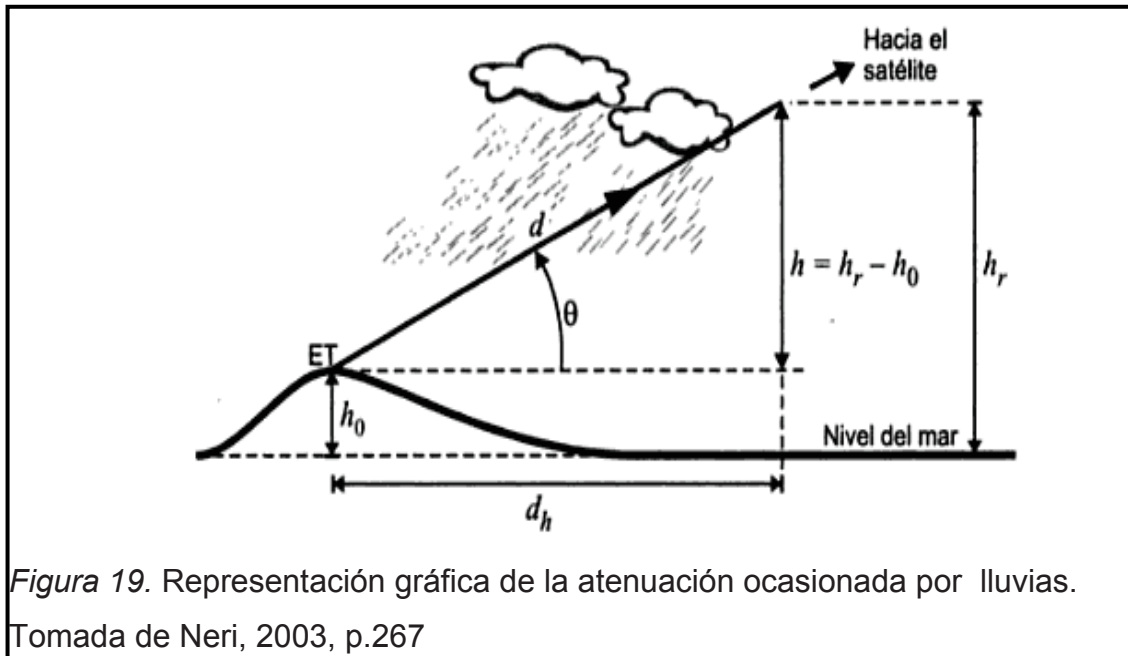
$$T(\text{lluvia}) = 280 \left(1 - \frac{1}{L(\text{lluvia})} \right) \text{ [K]} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde L (lluvia) es la atenuación por condiciones lluviosas y se la analiza detenidamente a continuación en la figura 18.



En el gráfico se observa que mientras la frecuencia va en aumento, se produce un incremento en el valor de la temperatura de ruido de la antena. En el caso

de redes VSAT, se puede afirmar que en banda Ku, este valor será mayor que para banda C.



La temperatura de ruido por lluvia se suma a la temperatura de ruido a cielo abierto y también a la temperatura de ruido que genera la Tierra, la cual es captada por los lóbulos secundarios, y se toma de la siguiente manera:

$$T_{\text{tierra}} = 50 \text{ K} \quad \text{si } 0^\circ < \theta < 10^\circ$$

$$T_{\text{tierra}} = 10 \text{ K} \quad \text{si } 10^\circ < \theta < 90^\circ$$

Para la banda Ku, Stephenson formuló la ecuación 9 detallada a continuación:

$$T_{\text{antena}} = 15 + \frac{30}{D} + \frac{180}{\theta} \text{ [K]} \quad (\text{Ecuación 9})$$

Donde:

D= diámetro de la antena en metros

θ = ángulo de elevación en grados

Para el caso de la banda C, la temperatura de ruido debida a la lluvia es despreciable debido a su robustez contra las malas condiciones climáticas.

Temperatura de ruido para el enlace de subida

El cálculo de la temperatura de ruido de una antena receptora en el enlace de subida, es decir de la antena de un satélite, es mucho más simple y directo que el anterior. Las antenas de los satélites apuntan hacia la Tierra y su haz principal de radiación generalmente es menos ancho que el disco terrestre visto desde la órbita geoestacionaria; por lo tanto, reciben toda la radiación térmica de la Tierra y su temperatura equivalente de ruido es muy próxima a los 290 grados Kelvin. (Neri, 2003, p.330).

1.4.1.1.2 BUC (Block Up Converter)

Es utilizado para el enlace de subida entre la estación y el satélite (transmisión). Convierte una frecuencia baja en alta. Los BUC's modernos convierten desde la banda L a bandas Ku, C y Ka antes de ser alimentados por el HPA. Los BUC's antiguos convierten desde una frecuencia intermedia de 70 MHz (IF) a banda C.

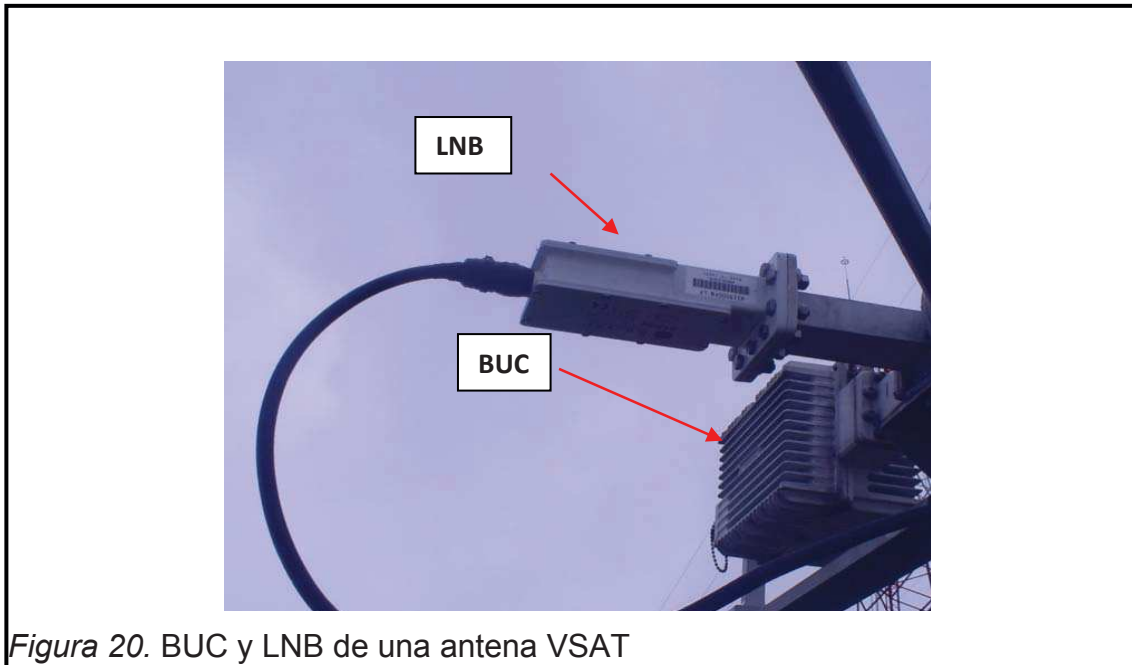
1.4.1.1.3 LNB (Low Noise Block)

Utilizado para la recepción de señales que provienen del satélite. Este dispositivo es necesario ya que las frecuencias de transmisión en el enlace descendente del satélite no se pueden distribuir por los cables coaxiales. El BUC está ubicado en el foco de la antena, se encarga de convertir la señal de microondas de banda Ku o C en una señal de frecuencia menor (IF), la cual es capaz de circular por el cable coaxial.

La banda IF es denominada como Banda L, está situada entre 950 MHz y 2.150 MHz. Debido a que la banda Ku posee un ancho de banda de 2,05 GHz, no es posible convertir a la banda de 950 MHz a 2.150 MHz, para este caso se realiza una subdivisión en dos sub- bandas, que se denominan:

- Banda Baja (10.7 GHz-11.7 GHz)
- Banda Alta (11.7 GHz- 12.75 GHz)

Mediante la figura 20 se detallan el BUC y LNB de una antena VSAT.



1.4.1.1.4 Alimentador (*Feed Horn*)

Es el componente de la antena encargado de la alimentación, se complementa con la guía de onda.

El alimentador presenta un ancho de haz típico entre 30 y 90 grados, es también utilizado para iluminar al reflector principal.

La corneta tiene una ventana de alimentación, la cual se compone por un material no conductor, similar a una tela, el mismo que previene a la humedad ingresar al elemento activo.

En la figura 21 se puede observar una antena VSAT para banda C con sus principales componentes:

- BUC
- Alimentador
- Plato

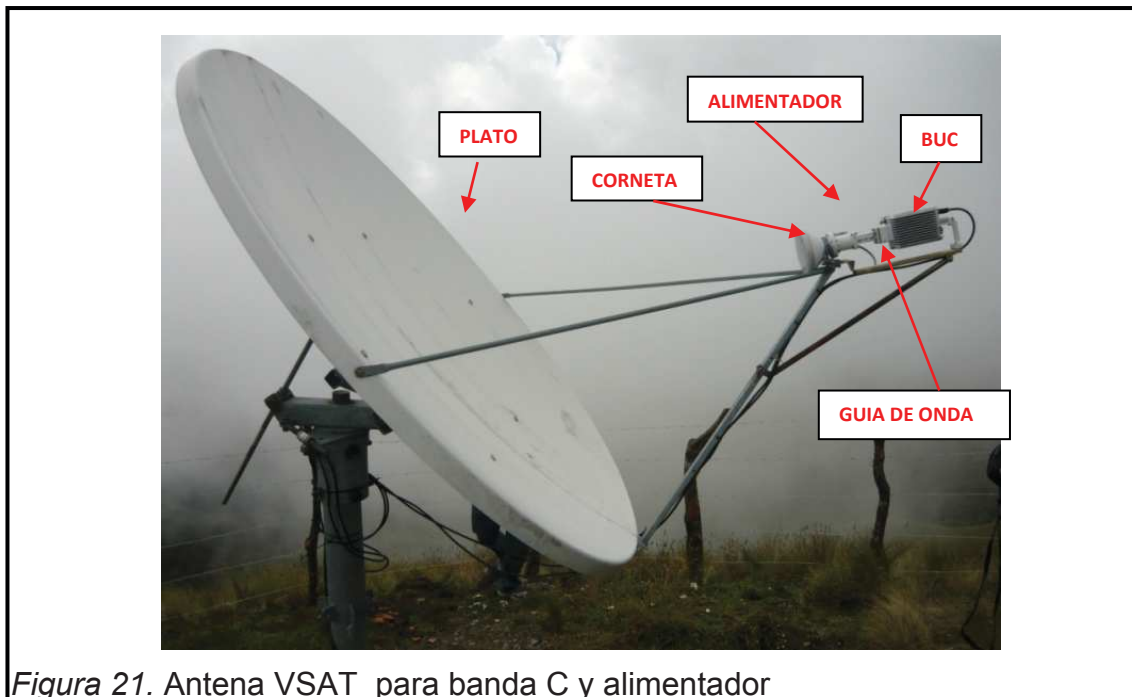


Figura 21. Antena VSAT para banda C y alimentador

1.4.1.2 Unidad Interna (IDU)

Equipo conectado a la computadora, encargado de la administración del telepuerto o red corporativa. Esta conexión se la puede realizar de manera directa, a través de la red pública conmutada, o mediante una línea privada dependiendo de que si el Hub es compartido o propio.

En pocas palabras, la IDU actúa como interfaz entre un terminal VSAT y el usuario o LAN.

Consta de los siguientes componentes:

- Moduladores
- Demoduladores
- Codificación FEC

- Tasa de error en el bit
- Switch con puertos de conexión a los usuarios

1.4.1.2.1 Switch con puertos

Responsable de controlar el ruteo entre los puertos del host y los puertos de los moduladores y demoduladores añadiendo y leyendo la información de las cabeceras de las direcciones IP, las cuales controlan el ruteo hacia las IDU's individuales.

1.4.1.2.2 Moduladores

Modulan las portadoras outbound con el flujo generado por el switch (cada portadora outbound está dedicada a un solo modulador).

1.4.1.2.3 Demoduladores

Reciben las portadoras inbound y extraen los paquetes de datos llevándolos hacia el switch.

1.4.1.2.4 Codificación FEC

Los errores ocurren cuando los datos se envían por medios digitales o analógicos. Muchos de estos errores son causados por la presencia de ruido en el canal. La importancia práctica de los errores varía con su número y con el tipo de información. Generalmente, los errores disminuyen si se utiliza una menor tasa de transferencia de datos, pero no es aconsejable. En estos casos, es mejor aceptar una tasa alta de errores y adoptar técnicas de corrección para eliminarlos antes de que causen problemas.

Existen varias técnicas para la detección y corrección de errores. En todas es necesario agregar redundancia, es decir, bits que no contribuyen al envío de información. A esta técnica se la conoce como Corrección de Errores Sin Canal de Retorno (*Forward Error Correction* FEC) (Blake, 2002, p.354).

En los enlaces por satélite se suelen utilizar codificaciones de tipo FEC que resultan en la salida de 2 bits codificados en transmisión por cada bit original (FEC 1/2), 8 bits codificados por cada 7 bits originales (FEC 7/8) y 4 bits codificados por cada 3 bits originales (FEC 3/4).

Para conocer cuál es la mejora que supone introducir un determinado tipo de codificación, se suele recurrir a gráficas que relacionan la tasa de errores en función del valor de E_b/N_0 disponible.

El ancho de banda ocupado por la señal en una transmisión satelital se calcula de acuerdo al valor del FEC y de la técnica de modulación empleada.

En la tabla 12 se detallan ejemplos teóricos de aplicación de 1/2 FEC y 7/8 FEC (García Ruiz de Angulo, 1989, p.108).

Tabla 12. Ejemplos teóricos de aplicación de FEC

Sin codificar		1/2 FEC		7/8 FEC	
Eb/No	Tasa Error	Eb/No	Tasa Error	Eb/No	Tasa Error
11,3 dB	3×10^{-7}	6 dB	3×10^{-7}	8 dB	2×10^{-5}
8 dB	2×10^{-4}	8 dB	2×10^{-10}		

Las siguientes ecuaciones se utilizan para calcular el ancho de banda utilizado por la señal.

- Para QPSK:

$$BW[\text{KHz}] = \left(\frac{V_{tx}}{\frac{FEC}{2}} \right) * 1,4 \quad (\text{Ecuación 10})$$

- Para BPSK:

$$BW[\text{KHz}] = \frac{V_{tx}}{FEC} * 1,4 \quad (\text{Ecuación 11})$$

- Para 8-PSK:

$$BW[\text{KHz}] = \left(\frac{V_{tx}}{\frac{FEC}{3}} \right) * 1,4 \quad (\text{Ecuación 12})$$

- Para 16QAM:

$$BW[\text{KHz}] = \frac{V_{tx}}{\frac{FEC}{4}} * 1,4 \quad (\text{Ecuación 13})$$

Donde:

V_{tx} = Velocidad de transmisión

FEC= Factor de corrección de errores asignado

1,4= *Roll Off*, este valor es utilizado para configurar la máscara de potencia espectral a la salida del demodulador. Si se utiliza el código Reed Solomon se debe agregar un 13/12 del ancho de banda resultante, por ejemplo:

$$BW[\text{KHz}] = \left(\frac{V_{tx}}{\frac{FEC}{3}} * \frac{13}{12} \right) * 1,4 \quad (\text{Ecuación 14})$$

La figura 22 ilustra un diagrama de bloques para la IDU.

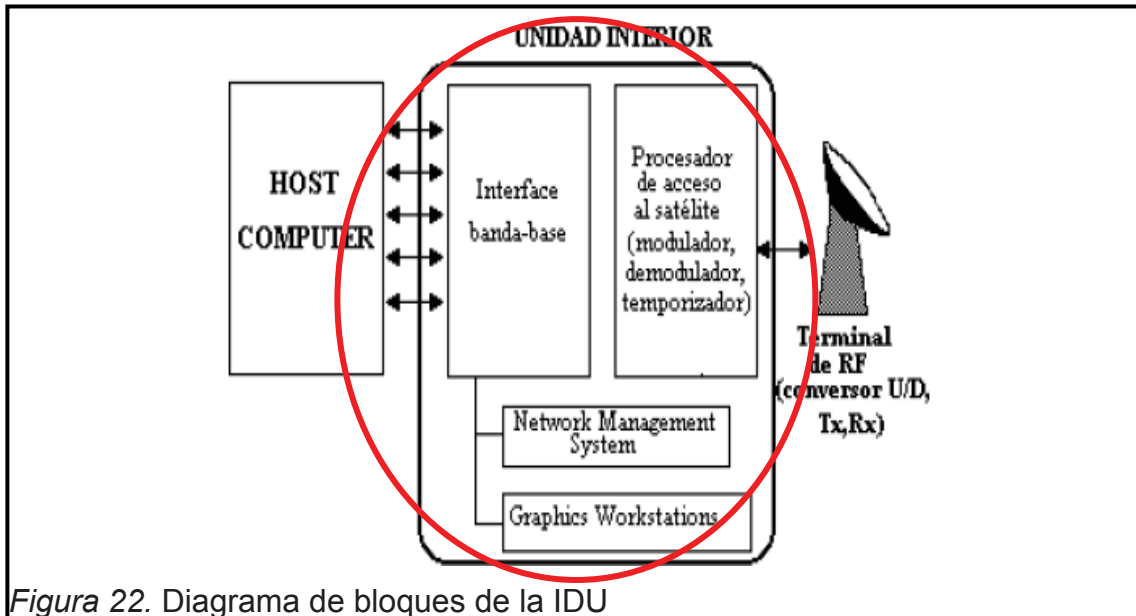


Figura 22. Diagrama de bloques de la IDU

1.4.2 Tasa de error en el bit (BER)

En un sistema con transmisión digital, la calidad de su señal es usualmente juzgada a través de la tasa de error del bit (*Bit Error Rate*- BER). Mientras más pequeño sea el valor del BER, mejor es la calidad del sistema (Carden, Jedlicka, Henry, 2002, p.148).

El BER representa la cantidad de errores que se producen en una transmisión. Expresa la calidad del enlace; es propia de cada equipo y mejora en la medida en que la relación de E_b/N_0 aumenta.

1.4.3 Estación Terrena

Una estación terrena o terminal VSAT se conforma por elementos similares a los de una estación maestra o HUB, pero difiriendo en algunos aspectos; su antena es más pequeña entre 0.8 a 2.4 metros de diámetro, en ésta no hay control de puertos ni tráfico; no existen switches de acceso hacia la red del proveedor ni tampoco se tiene control de seguridad ni protocolos de enrutamiento.

Los componentes de una estación terrena y su distribución se encuentran detallados en la figura 23.

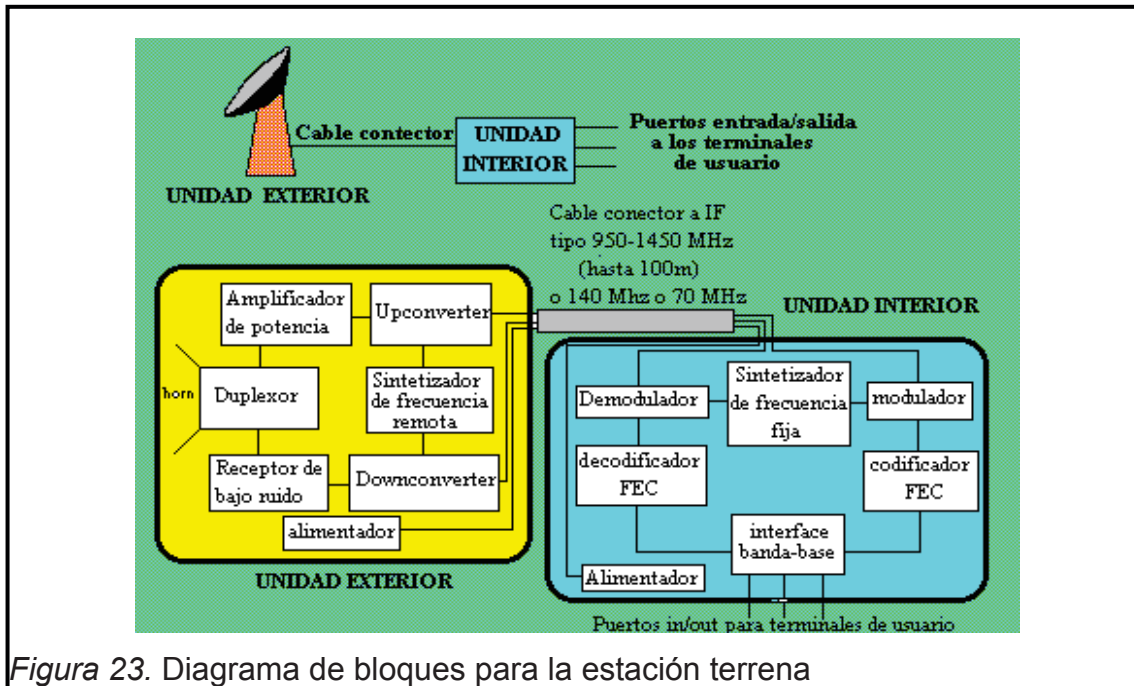


Figura 23. Diagrama de bloques para la estación terrena

1.4.3.1 Antena

La orientación de la antena instalada en la estación terrena dirigida hacia el satélite es realizada ajustando dos ángulos:

- Ángulo de elevación
- Ángulo de azimut

Los valores de estos ángulos dependen exclusivamente de la ubicación geográfica de la estación terrena y de la ubicación en longitud del satélite.

1.4.3.1.1 Ángulo de elevación y Azimut

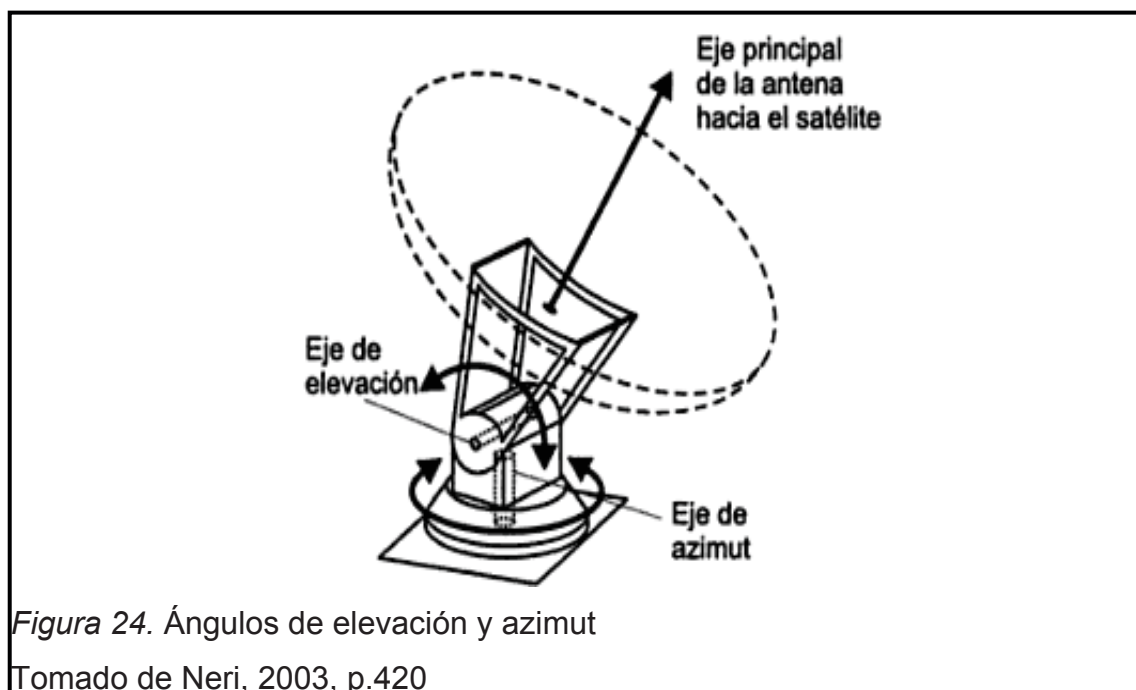
Se toma como referencia al eje de simetría del plato parabólico, el que debe coincidir con su máxima radiación.

Por lo tanto, el ángulo de elevación, es aquel que se forma entre la superficie del suelo y tal eje simétrico, dirigido hacia el satélite tal como se demuestra en la figura 24.

Por su parte, el ángulo de azimut, es la medida en grados con la que se debe girar la antena en sentido de las manecillas del reloj (con relación al norte geográfico de la Tierra) para que ese mismo eje de simetría pase por la posición de longitud del satélite (Neri, 2003, p.384).

El cálculo del valor para los ángulos de elevación y azimut son de suma importancia en el diseño de una red VSAT, la errónea orientación de la antena parabólica impedirá que la señal puede ser transmitida hacia el satélite o recibida desde él.

En el transcurso del documento se explicará el procedimiento para calcular ambos ángulos, azimut y elevación, necesarios para el diseño de la red VSAT en mención.



Los parámetros utilizados para evaluar a una estación terrena son los siguientes:

- Potencia de señal recibida
- Figura de Mérito
- Temperatura de ruido del sistema
- Factor y figura de ruido de la antena
- Relación Portadora/Ruido
- Eb/No

1.4.3.2 Densidad de flujo recibida

La potencia transmitida (PIRE) es repartida en la superficie de una esfera, el transmisor está en el centro de la esfera y el receptor se encuentra a una distancia R, tal cual se percibe en la figura 25.

La ecuación 15 se utiliza para calcular la densidad de potencia recibida.

$$\text{DFP} = \text{PIRE} / 4\pi R^2 \left[\left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{Hz}} \right) \right] \quad (\text{Ecuación 15})$$

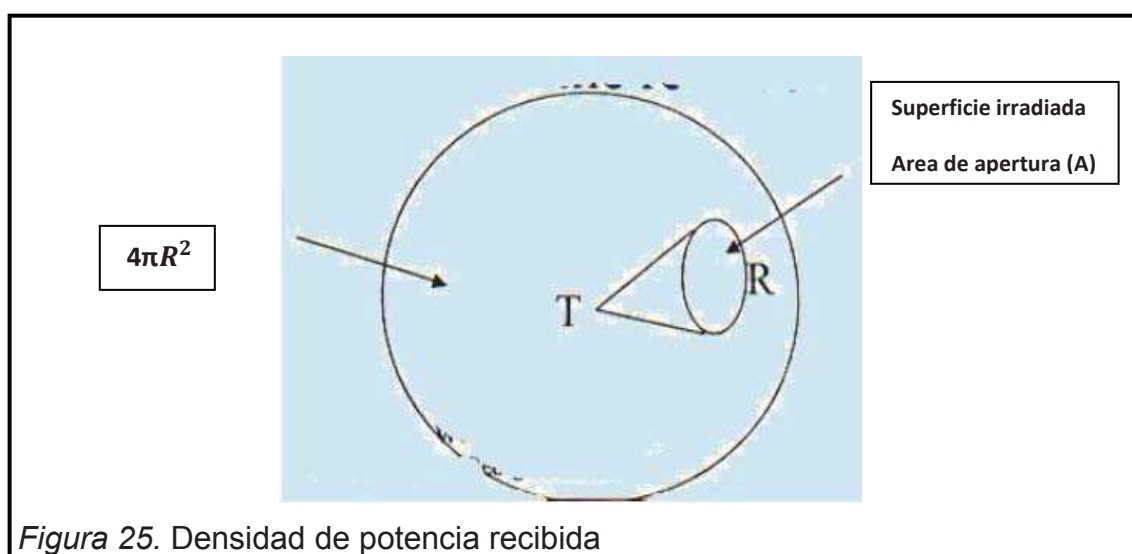


Figura 25. Densidad de potencia recibida

1.4.3.3 Potencia de señal recibida

La potencia de la señal recibida se la calcula en base de la densidad de potencia de recepción y del área de la apertura de recepción medida en metros cuadrados.

La ecuación 16 detalla cómo se la debe calcular.

$$P_r = \left(\frac{P_{IRE}}{4\pi R^2} \right) A \text{ [W]} \quad \text{(Ecuación 16)}$$

Donde:

A= Area de apertura de recepción (m²).

R= Distancia a la cual se encuentra el receptor.

1.4.3.4 Figura de Mérito

El principal índice de calidad de las estaciones terrenas que funcionan en el servicio fijo por satélite es aquel valor producto del resultado de la relación entre la ganancia de potencia de la antena y la temperatura de ruido del sistema (G/T), también conocido como Figura de Mérito.

Existen dos métodos utilizados para calcular la relación G/T de las estaciones terrenas (cada uno con ventajas para distintas situaciones) y un método para su predicción.

Uno de los métodos utilizados para calcular la relación G/T es la medición de la potencia de ruido que proviene de una fuente radioeléctrica estelar detallada en la ecuación 17.

$$\frac{G}{T} = \frac{8\pi k(r-1)}{\theta(f)\lambda^2} \quad \text{(Ecuación 17)}$$

Donde:

k = Constante de Boltzmann (-228,6 [dBW/K-Hz])

λ = Longitud de onda

$\phi(f)$ = Densidad espectral de flujo de radiación de la fuente radioeléctrica estelar en función de la frecuencia f .

G = Ganancia de la antena referida a la entrada del receptor.

T = Temperatura de ruido del sistema a la entrada del receptor.

$$r = \frac{P_n + P_{st}}{P_n} \quad (\text{Ecuación 18})$$

P_n : Potencia de ruido que corresponde a la temperatura de ruido de sistema T .

P_{st} : Potencia de ruido suplementaria cuando la antena está en alineación exacta con la fuente radioeléctrica estelar.

Otra fórmula utilizada para calcular la figura de mérito con respecto a un enlace satelital es la expresada a continuación en la ecuación 19.

$$\frac{G}{T} \text{ (dB)} = G_{dB} - 10 \log T \quad (\text{Ecuación 19})$$

Donde:

T = Temperatura de ruido del sistema.

1.4.3.5 Temperatura de ruido del sistema

Generalmente, se define al ruido como el movimiento aleatorio de electrones que ocurre en cualquier conductor a una temperatura superior al cero absoluto.

Si una fuente genera ruido de potencia P_n , la temperatura de ruido se define con la ecuación 20.

$$T = P_n / kB \quad (\text{Ecuación 20})$$

Donde:

B = Ancho de banda

k = Constante de Boltzmann (-228,6 [dBW/K-Hz])

P_n = Potencia de ruido en vatios

En caso de que dos fuentes de ruido están contribuyendo a la potencia total de ruido, se tiene la ecuación 21.

$$P_n = KT_1B + KT_2B \quad (\text{Ecuación 21})$$

La temperatura de ruido del sistema para una estación terrena consta de dos componentes principales:

- Temperatura de ruido en recepción
- Temperatura de ruido de la antena, alimentadores y guías de onda

De esta forma se tiene la ecuación 22.

$$T_{\text{sistema}} = T_a + T_f + T_r \quad (\text{Ecuación 22})$$

Donde:

T_a = Temperatura de ruido de la antena.

T_f = Temperatura de ruido del alimentador.

T_r = Temperatura de ruido del sistema receptor.

La temperatura de ruido es un parámetro que por lo general proporciona el fabricante, en caso de no disponer de ese dato, es posible asumir una temperatura de ruido total de 80 ° K para estaciones con antenas de hasta 8 metros de diámetro y 70 °K para estaciones con diámetros mayores.

La densidad de ruido efectiva se obtiene a partir de la ecuación 23.

$$N_o = kT \quad (\text{Ecuación 23})$$

Donde:

T= Temperatura de ruido del sistema.

1.4.3.6 Factor y figura de ruido de la antena

Se define como la potencia mínima que debe tener la señal captada para que quede cubierta por el ruido de la propia antena.

En el caso de las antenas parabólicas, para la recepción de emisiones de radio y televisión vía satélite, en las que las potencias que llegan son muy pequeñas, es muy importante alcanzar unos factores de ruido mínimos (Ruiz, 1996, p.20). La figura de ruido de la antena (F) se calcula a partir del factor de ruido de la misma, el cual depende de la antena.

La ecuación 24 es utilizada para calcularla.

$$F = 10 \log(n) \text{ [dB]} \quad \text{(Ecuación 24)}$$

Obteniendo el valor para la Figura de Ruido también se puede calcular el valor para la Temperatura de Ruido del sistema expresada en la ecuación 25.

$$T = 290 \left(10^{\frac{F}{10}} - 1 \right) \text{ [°K]} \quad \text{(Ecuación 25)}$$

1.4.3.7 Nivel de portadora

Dada un área de la apertura efectiva Aeff en la antena receptora del satélite, el nivel de la portadora recibida (Cu) en el mismo se la expresa mediante la ecuación 26.

$$C_u = \text{PIRE} * \frac{A_{\text{eff}}}{4\pi r^2} \quad \text{(Ecuación 26)}$$

$$C_u[\text{dB}] = \text{PIRE}[\text{dBW}] + G[\text{dB}] - L[\text{dB}] \quad \text{(Ecuación 27)}$$

Donde:

L = Pérdidas de propagación en el espacio

1.4.3.8 Relación Portadora/ Densidad de ruido

Un canal completo por satélite consiste de dos partes; un enlace ascendente y un enlace descendente. La relación portadora- densidad de ruido en el enlace ascendente se expresa mediante la ecuación 28.

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_u = \frac{PIRE_{*}A_{eff}}{4\pi r^2 kT} \quad (\text{Ecuación 28})$$

De las ecuaciones 28 y 2 se obtiene la ecuación 29 para calcular la relación portadora/ densidad de ruido en el enlace ascendente:

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_u = PIRE_u[\text{dBW}] + L_u + \left(\frac{G}{T}\right)_s \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}}\right] - k[\text{dBW/°K/Hz}] \quad (\text{Ecuación 29})$$

De igual manera para el enlace descendente se tiene la ecuación 30.

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_d = PIRE_d[\text{dBW}] + L_d + \left(\frac{G}{T}\right)_r \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}}\right] - k[\text{dBW/°K/Hz}] \quad (\text{Ecuación 30})$$

Donde:

PIRE_u= PIRE para el enlace ascendente (*uplink*)

PIRE_d= PIRE para el enlace descendente (*downlink*)

L_u= Pérdidas de propagación más atenuación atmosférica y lluvias en el enlace ascendente.

L_d= Pérdidas de propagación más atenuación atmosférica y lluvias en el enlace descendente.

G/T_s= Figura de mérito del satélite

G/T_r= Figura de mérito de la estación terrena receptora

k= Constante de Boltzmann

La ecuación 31 expresa la relación total portadora/ ruido del sistema.

$$\frac{C}{N_o} [\text{dB} - \text{Hz}] = \left(\frac{C}{N_o}\right)_u [\text{dB} - \text{Hz}] + \left(\frac{C}{N_o}\right)_d [\text{dB} - \text{Hz}] + \frac{C}{I_{Mo}} [\text{dB} - \text{Hz}] \quad (\text{Ecuación 31})$$

Donde:

C/I_{Mo} = Relación portadora/ densidad de ruido de intermodulación contribuida por el transpondedor del satélite.

La contribución de ruido de intermodulación depende de las características de entrada y de salida del satélite. Cuando el amplificador es excitado hasta su punto de saturación, el valor de I_{Mo} será alto. Para reducir lo más posible éste tipo de ruido, el satélite funciona con menor potencia a la de saturación (Gordillo, 1995, p.37).

La ganancia del transpondedor se define como la relación entre la potencia de salida (PIREd) y la potencia de entrada al satélite (PIREu), y se la expresa tal como indica la ecuación 32.

$$G_s = \text{PIREd}[\text{dBW}] + \text{PIREu}[\text{dBW}] - L_u[\text{dB}] \quad (\text{Ecuación 32})$$

Cuando se desean calcular valores y no decibelios, se lo realiza mediante las ecuaciones 33 y 34.

$$\frac{1}{C/N_o} = \frac{1}{\left(\frac{C}{N_o}\right)_u} + \frac{1}{\left(\frac{C}{N_o}\right)_d} \quad (\text{Ecuación 35})$$

$$\frac{C}{N_o} = \frac{1}{\left(\frac{N_o}{C}\right)_u + \left(\frac{N_o}{C}\right)_d} \quad (\text{Ecuación 36})$$

1.4.3.9 Relación energía del bit/ Densidad de ruido espectral (E_b/N_o)

Para empezar a definir la relación E_b/N_o hay que primero definir a cada uno de los componentes de la relación, teniendo lo siguiente:

E_b : Bit de energía

N_o : Ruido de la densidad espectral

La relación E_b/N_0 se mide en el receptor y sirve para indicar que tan fuerte es la señal. Dependiendo de la técnica de modulación utilizada (BPSK, QPSK, etc.), se tiene diferentes curvas de errores en bits por E_b/N_0 .

Estas curvas sirven para determinar la tasa de error y si ésta es aceptable para un sistema específico (telecomhall .s.f.).

A continuación en la figura 26 se grafican las curvas obtenidas de la relación E_b/N_0 vs BER considerando las diferentes técnicas de modulación.

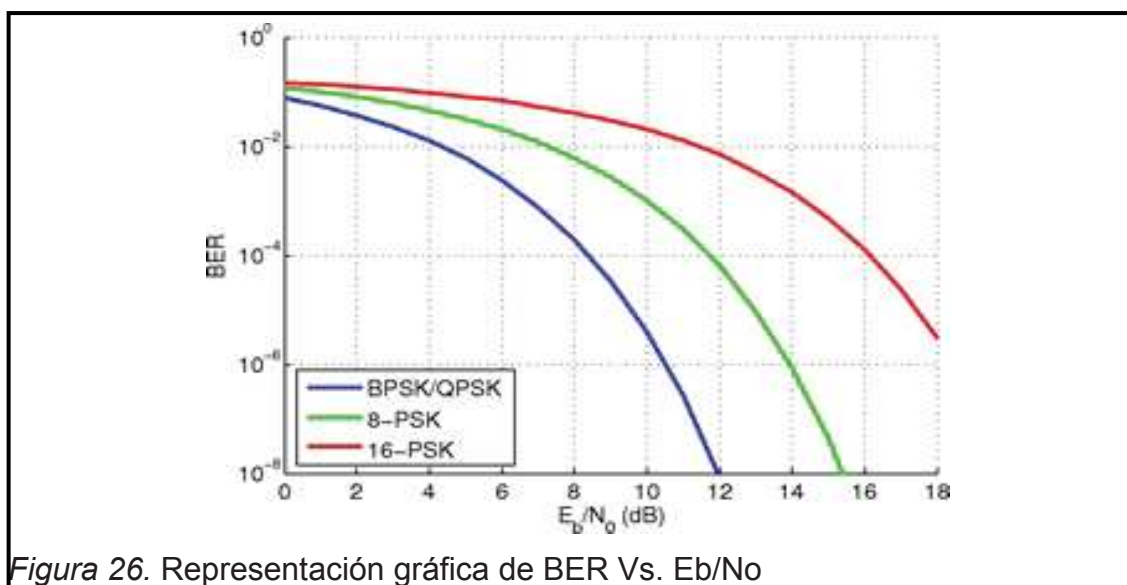


Figura 26. Representación gráfica de BER Vs. E_b/N_0

La energía del bit se calcula mediante la ecuación 37.

$$E_b = C T_b \quad (\text{Ecuación 37})$$

Donde:

C= Potencia de la portadora de transmisión o recepción

T_b = Duración del bit

Para los sistemas digitales la relación energía por bit a densidad de ruido E_b/N_0 total del sistema se calcula a partir de las ecuaciones 38 y 39.

$$E_{bu} = C_u T_b \quad (\text{Ecuación 38})$$

$$E_{bd} = C_d T_b \quad (\text{Ecuación 39})$$

Donde:

E_{bu} = Energía de bit en enlace ascendente.

E_{bd} = Energía de bit en enlace descendente.

Si se reemplaza las ecuaciones 38 y 39 en la ecuación 36 se obtiene la ecuación 40.

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{C}{N_o} - 10 \log(V_{tx}) \quad (\text{Ecuación 40})$$

En conclusión, el E_b/N_o determinaría el rendimiento y la probabilidad de error para un enlace VSAT.

1.4.3.10 Relación portadora/ ruido térmico (C/T)

El funcionamiento de un enlace de comunicaciones también se lo puede expresar en términos de la relación portadora/ ruido térmico.

Este parámetro se define como la relación de la potencia de portadora recibida y la temperatura de ruido efectiva a la salida de un sistema receptor en la estación terminal (Gordillo, 1995, p.39). Esta relación es la combinación de los siguientes parámetros:

- Intermodulación debida al sistema de transmisión
- G/T del sistema receptor del satélite
- Intermodulación del satélite
- G/T de la estación terrena receptora

Con respecto a la relación C/N_o , la relación C/T se obtiene de la siguiente manera:

$$\frac{C}{T} \left[\frac{\text{dBW}}{^\circ\text{K}} \right] = \frac{C}{N_o} [\text{dB} - \text{Hz}] + k [\text{dBW}/^\circ\text{K}/\text{Hz}] \quad (\text{Ecuación 41})$$

Reemplazando C/No en la ecuación 40 se obtiene la ecuación 41.

$$\frac{C}{T} \left[\frac{\text{dBW}}{^\circ\text{K}} \right] = \text{PIRE}[\text{dBW}] - L[\text{dB}] + G/T[\text{dB}/^\circ\text{K}] \quad (\text{Ecuación 42})$$

Donde:

G/T= Factor de calidad del sistema receptor.

L= Pérdidas en el trayecto, por propagación y pérdidas adicionales.

PIRE= Potencia isotrópica equivalente del transmisor en dBW.

En un solo enlace punto- punto, la potencia de salida en la antena receptora es:

$$C = GPr \quad (\text{Ecuación 43})$$

Donde:

G= Ganancia del sistema

Pr= Potencia de la señal recibida con referencia a una antena isotrópica. De esta manera, la relación C/T, se expresaría mediante la ecuación 44.

$$\frac{C}{T} \left[\frac{\text{dBW}}{^\circ\text{K}} \right] = \frac{G}{T} \left[\frac{\text{dB}}{^\circ\text{K}} \right] + Pr [\text{dBW}] \quad (\text{Ecuación 44})$$

En un sistema con transmisión satelital existe más de un enlace, de tal manera que la relación C/T total será la suma aritmética de las relaciones sencillas de C/T por cada elemento del sistema.

1.4.3.11 Relación portadora/ potencia de ruido (C/N)

Con el fin de determinar el umbral del receptor y probar los demoduladores, es necesario conocer la relación C/N en el ancho de banda ocupada por la señal. Esta relación se obtiene de la ecuación 45.

$$\frac{C}{N} [\text{dB}] = \frac{C}{N_0} [\text{dB} - \text{Hz}] - 10\log\text{BW} \quad (\text{Ecuación 45})$$

En donde:

BW= Ancho de banda ocupado por la señal.

La relación C/N también se la calcula mediante la ecuación 46.

$$\frac{C}{N} [\text{dB}] = \frac{C}{T} \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] - 10 \log \text{BW} [\text{dB}] - k [\text{dBW}/\text{°K}/\text{Hz}] \quad (\text{Ecuación 46})$$

1.4.3.12 Reducción de la potencia de entrada

Se especifica la reducción de la potencia de entrada cuando permanecen funcionando varias portadoras, referidas al nivel de saturación de una sola portadora. La reducción de la potencia se la conoce como *Backoff*. La reducción de la potencia a la entrada se la expresará con las siglas BOi.

$$\text{PIREu} [\text{dBW}] = \text{PIREsat} [\text{dBW}] - \text{BOi} [\text{dBW}] \quad (\text{Ecuación 47})$$

Donde:

PIREsat= PIRE mínima de la estación terrena, requerida para saturar al transpondedor del satélite, se obtiene a partir de la ecuación 48.

$$\text{PIREsat} [\text{dBW}] = \text{DFPsat} [\text{dBW}/\text{m}^2] - 20 \log (f_u) [\text{dB}] + L [\text{dB}] - 21,4 \quad (\text{Ecuación 48})$$

Donde:

DFPsat= densidad de flujo de potencia de saturación.

f_u = Frecuencia del enlace ascendente GHz.

L= Pérdidas totales en el enlace ascendente

La ecuación 38 demuestra que al reducir el valor del PIRE de la estación terrena se reducirá el valor de la potencia a la entrada.

Si el enlace considera una sola portadora, es conveniente trabajar en el punto de saturación del transpondedor del satélite. Este caso no es común, si en un

amplificador TWT se encuentran presentes varias portadoras simultáneas, el punto de funcionamiento debe reducirse a una parte lineal de la característica de transferencia para reducir el efecto de distorsión en la intermodulación (Gordillo, 1995, p.42).

En la reducción de potencia debe tenerse en cuenta los cálculos del balance en el enlace.

Combinando las ecuaciones 47 y 48 en la ecuación 42 se obtiene la siguiente expresión:

$$\frac{C}{T} \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = \text{DFPsat}[\text{dBW}/\text{m}^2] - 20 \log f_u [\text{dB}] - \text{BOi}[\text{dBW}] + \left(\frac{G}{T} \right) s \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}} \right] - 21,46$$

(Ecuación 49)

Donde:

DFPsat= densidad de flujo de potencia de saturación.

f_u = Frecuencia del enlace ascendente GHz.

L = Pérdidas totales en el enlace ascendente

G/T = Factor de calidad del satélite

Y la relación portadora/ densidad de ruido para el enlace ascendente se expresará de la siguiente manera:

$$\frac{C}{N_o} [\text{dB} - \text{Hz}] = \left(\frac{C}{T} \right) u [\text{dBW}/\text{°K}] + 228.6 [\text{dBW}/\text{°K} - \text{Hz}]$$

(Ecuación 50)

1.4.3.13 Reducción de la potencia de salida

Cuando se emplea la reducción de la potencia de entrada, en el PIRE del satélite es preciso dejar un margen para la reducción de potencia de salida equivalente. La reducción de la potencia de salida no se relaciona linealmente con la reducción de la potencia en la entrada.

Como la parte lineal da un cambio en decibelios, la relación entre la reducción de la potencia de entrada está expresada tal cual indica la ecuación 51.

$$BO_o[\text{dBW}] = BO_i[\text{dBW}] - X[\text{dBW}] \quad (\text{Ecuación 51})$$

La diferencia entre los valores de BO_i y BO_o dependerá específicamente de las características del satélite con el cual se esté trabajando.

Para especificar la relación C/T en el enlace descendente se utiliza la ecuación 52.

$$\left(\frac{C}{T}\right) d \left[\frac{\text{dBW}}{^\circ\text{K}}\right] = (\text{PIRE}_{\text{sat}})d[\text{dBW}] - BO_o[\text{dBW}] - L_d[\text{dB}] + \frac{G}{T} \left[\frac{\text{dB}}{^\circ\text{K}}\right] \quad (\text{Ecuación 52})$$

Donde:

PIRE_{sat} = PIRE de saturación para el enlace descendente

L_d = Pérdidas en el enlace descendente

G/T = Factor de calidad de la estación terrena receptora

En consecuencia, la relación portadora/ densidad de ruido para el enlace descendente será la expresada por la ecuación 53.

$$\left(\frac{C}{N_o}\right) d[\text{dB} - \text{Hz}] = \left(\frac{C}{T}\right) d[\text{dBW}/^\circ\text{K}] + 228.6[\text{dBW}/^\circ\text{K} - \text{Hz}] \quad (\text{Ecuación 53})$$

En el caso del enlace ascendente, la densidad de flujo de saturación en el receptor del satélite es un parámetro especificado en manuales, mientras que para el enlace descendente no hay necesidad de conocer ese valor debido a que no se utiliza la señal en el receptor para saturar un amplificador de potencia (Gordillo, 1995, p.44).

1.4.3.14 Ruido de interferencia

Cuando existe la presencia de portadoras en diferentes frecuencias y que comparten un mismo transpondedor, se requieren filtros pasa-banda para aislar las señales e impedir que exista interferencia mutua.

Este filtrado no es perfecto, existirá cierta interferencia, la cual se suma a los productos de intermodulación que pudieran estar presentes. También puede haber interferencias entre portadoras que reutilicen las frecuencias. La reutilización de la frecuencia depende de la polarización o aislamiento de los haces de la antena, y en algunos casos, un aislamiento imperfecto producirá interferencia. También se debe considerar la interferencia de los servicios cursados por otras redes satelitales, siendo la más importante aquella que proviene de los enlaces con satélites adyacentes a la órbita geoestacionaria.

1.4.4 Segmento Espacial

Constituido esencialmente por el satélite de comunicaciones, el mismo que se conforma básicamente por un conjunto de repetidoras de señales radioeléctricas o transpondedores (receptor, amplificador y transmisor) y por sistemas de apoyo. Los equipos de comunicaciones incluyendo antenas y repetidores constituyen la carga útil del satélite. Entre los sistemas de apoyo se pueden destacar:

- Control térmico
- Sistema de energía
- Estructura
- Sistema de propulsión
- Sistema de control
- Sistema de estabilización

1.4.4.1 Transpondedor

Un transpondedor es un dispositivo utilizado en comunicaciones satelitales, ubicado dentro del satélite, el cual recepta una señal proveniente de la Tierra, la amplifica y reenvía en banda de frecuencia distinta para adaptarla a la frecuencia de los equipos en banda base. A este tipo de dispositivos se los conoce también con el nombre de Transpondedores Activos.

Los recursos de un satélite son compartidos por muchas estaciones terrenas de distintos tipos (A, B, C, D, E y F) y por lo tanto son distintas demandas de capacidad; esta demanda puede variar entre un ancho de banda desde los 51,2 KHz hasta llegar a la totalidad de capacidad para un transpondedor.

Los parámetros directamente relacionados al funcionamiento del transpondedor son los siguientes:

- Densidad de flujo de saturación
- Figura de mérito de recepción
- PIRE de saturación
- Ancho de banda

La tabla 13 detalla los tipos de transpondedores existentes.

Tabla 13. Tipos de transpondedores

Transpondedor	Estructura	BW (MHz)	Banda (GHz)
Tipo N	Angosto	36	C 6/4 GHz
Tipo W	Ancho	72	C 6/4 GHz
Tipo Ku	Ancho	54-108	Ku 14/12 GHz
Tipo Ku	Angosto	36	Ku 14/12 GHz

En la figura 27 se ilustra un diagrama completo del segmento espacial.

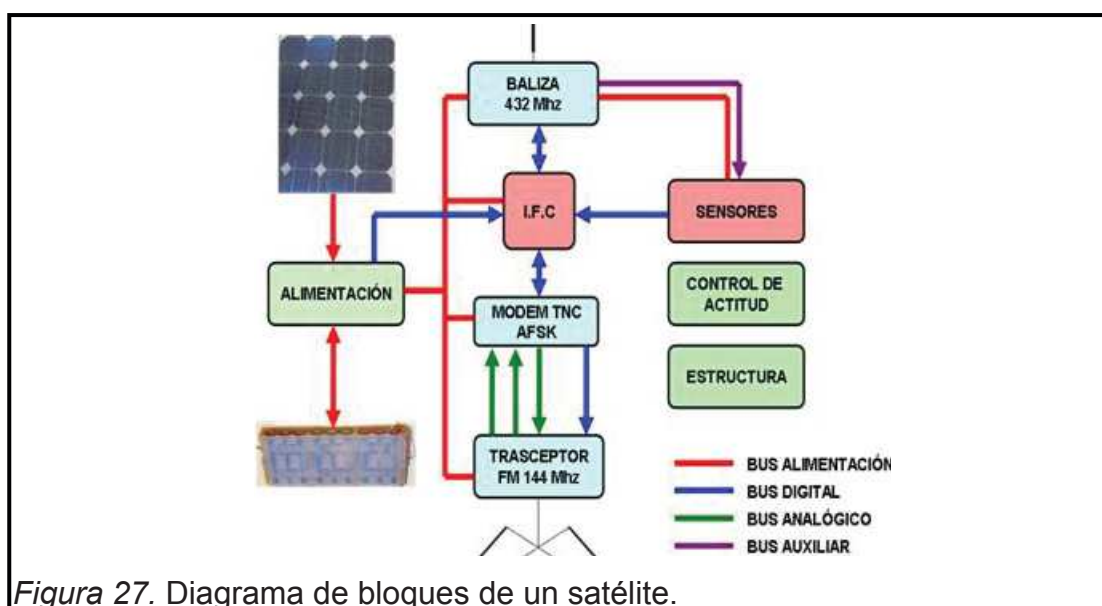


Figura 27. Diagrama de bloques de un satélite.

1.4.4.2 Sun Outage

La calidad de las comunicaciones satelitales sufre degradaciones cuando el sol se alinea con el satélite y la Tierra debido a que los satélites geoestacionarios se encuentran sobre el plano del Ecuador en una órbita plana.

Como el sol es un transmisor mucho más potente que el satélite, el ruido solar se sobrepone a las señales procedentes de este último, ocasionando la pérdida del tráfico.

Esta degradación ocurre dos veces al año, ya sea en primavera o en otoño; dura alrededor de cinco o seis días durante 15 minutos diarios.

La compañía proveedora del servicio satelital se encargará de informar a los usuarios cuándo se efectuará esta interferencia solar y su duración promedio.

Por lo general las predicciones se asemejan con la realidad. No hay manera de evitar el Sun Outage, es un fenómeno natural que siempre se tendrá en comunicaciones satelitales.

En la figura 28 se ilustra gráficamente cómo se produce el Sun Outage.



Figura 28. Sun Outage y su efecto sobre un satélite.

Tal como se mencionó, el sol interfiere directamente en el enlace entre el satélite y la Tierra, la radiación solar es tan fuerte que el servicio es totalmente degradado.

1.5 Métodos de Acceso al satélite

El ancho de banda típico que ofrece un satélite es de 500 MHz, dividido en varios transpondedores, por lo general en canales de 36 MHz. Esto significa que cada transpondedor puede dar cabida a diversas fuentes de información que ocupen el total del ancho de banda de 36 MHz.

El enlace de acceso desde el HUB a las estaciones VSAT por lo general se configura utilizando TDM. Sin embargo, en el enlace de sentido contrario existe mayor número de opciones. El principal problema en cuanto al acceso al satélite se refiere es el valor del retardo de propagación. En constelaciones GEO este valor puede llegar a ser realmente elevado (mayor a los 200 ms) (Huidobro, 2008, p.173).

La técnica de acceso múltiple permite que varias estaciones terrenas transmitan simultáneamente sus portadoras sin interferencia mutua.

Existen varias técnicas de acceso al medio (satélite), las más comunes son:

- Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA)
- Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)
- Acceso múltiple por distribución de código (CDMA)
- Sistema ALOHA
- Acceso múltiple por asignación de demanda (DAMA)

1.5.1 Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA)

La capacidad total de un transpondedor está dividida en ranuras de frecuencias que se asignan para cada estación terrena o terminal VSAT. La configuración es rígida e invariable, cada una de las estaciones transmitirá siempre con la misma frecuencia central o portadora, lo cual resulta justificable cuando se asegure que cada una de las estaciones ocupará el ancho de banda otorgado durante la mayor parte del tiempo. Es decir, es una asignación fija (Neri Vela, 2003, p.237).

Cuando el tráfico producido por las estaciones que comparten un transpondedor es esporádico e intermitente, la capacidad del satélite no es aprovechada. En ese caso se requiere utilizar la técnica por asignación de demanda DAMA, que permite el aprovechamiento máximo de las porciones de frecuencia y de la potencia del satélite cuando el tráfico es esporádico, debido a que las porciones serán asignadas a las estaciones sólo durante el tiempo que ellas necesitan establecer comunicación (Neri Vela, 2003, p.234).

Para evitar interferencias, las bandas se separan unas de otras por pequeñas ranuras de guarda.

Existen dos tipos de técnicas FDMA:

- Único canal por portadora
- Múltiples canales por portadora

1.5.1.1 Único canal por portadora (SCPC)

En este tipo de sistemas cada portadora está modulada por un canal de frecuencias. SCPC es un tipo de arquitectura de red utilizada para comunicaciones de voz, fue introducida hace tres décadas y requiere el uso de

portadora separada por cada canal de voz. El SCPC puede ser utilizado en técnicas de modulación analógica y digital (Gordillo, 1995, p.16).

La ventaja principal de SCPC es que permite la conexión total entre dos canales cualesquiera de la red, adicionalmente, permite la utilización progresiva del transpondedor del satélite y en consecuencia una expansión flexible de la red.

1.5.1.2 Múltiples canales por portadora (MCPC)

La arquitectura MCPC es la arquitectura más popular de comunicación por satélite en los mercados internacionales desregulados, regidos por demanda de usuario.

El MCPC es un subproducto del SCPC combinado con multiplexación TDM convencional de voz y datos.

Cada ráfaga de datos se asigna a una portadora separada en el transpondedor. Cada portadora forma un enlace dedicado, punto a punto, entre dos localidades.

Una de las ventajas de este tipo de arquitectura es el costo inicial, relativamente bajo para las redes privadas pequeñas, pues requiere tan solo de un enlace. Su mayor desventaja es la carencia de flexibilidad en la utilización de los canales del satélite, los cuales son pre-asignados a cada enlace (Gordillo, 1995, p.17).

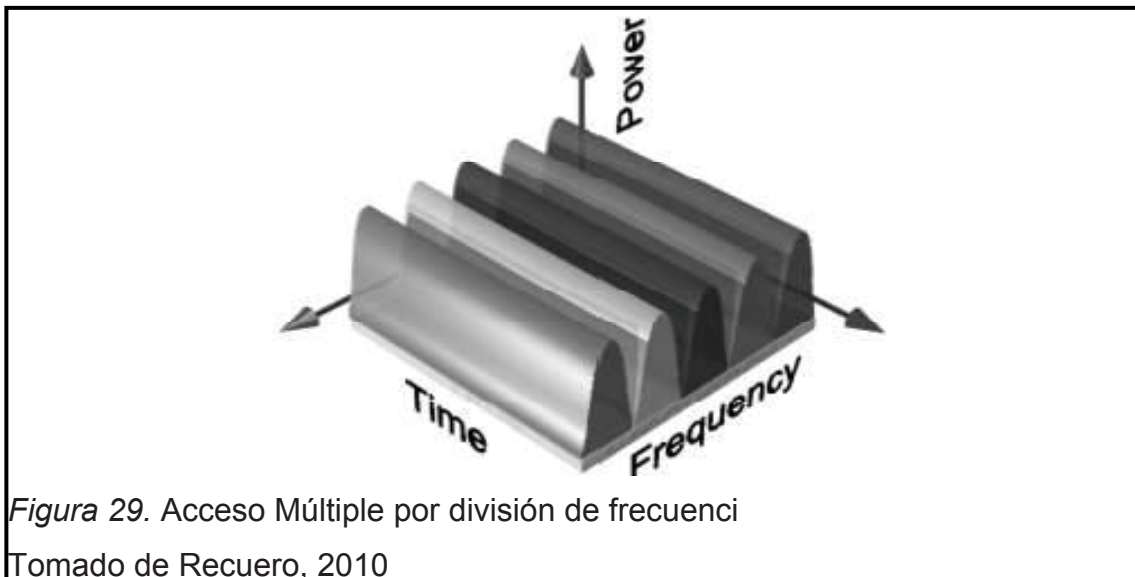
Ventajas:

- No hay colapso en la red ante grandes volúmenes de información.
- Costo inicial relativamente bajo para redes privadas pequeñas, puesto que se requiere un solo enlace.

Desventajas:

- Circuitos más complejos para los módems, ya que éstos requieren tener la capacidad de variar la frecuencia de operación a través de un sintetizador de frecuencias.
- No existe optimización de la capacidad del satélite.
- Redes poco flexibles.
- Sensible a la generación de productos de intermodulación.

En la figura 29 se puede observar un esquema que ilustra el acceso múltiple por división de frecuencia.



1.5.2 Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)

Es una técnica totalmente digital mediante la cual a varias estaciones terrenas acceden u ocupan un transpondedor o parte de él. A diferencia de FDMA, donde a cada terminal VSAT se le asigna una ranura de frecuencias dentro del transpondedor, normalmente con un ancho de banda diferente para cada una, en TDMA, un grupo de estaciones tiene asignada la misma porción de frecuencia, con un determinado ancho de banda que es fijo, compartido entre ellas de manera secuencial en el tiempo, es decir, cada estación VSAT tendrá

asignado un tiempo de transmisión, y cuando su tiempo se agote, dejará de hacerlo para que la siguiente estación que está en secuencia lo haga, hasta que su turno llegue nuevamente.

El tiempo no siempre será el mismo para todos los casos, ya que no todas las estaciones terrenas producirán el mismo tráfico.

Los tiempos pueden ser de asignación fija o variable en el tiempo.

Una gran ventaja de ésta técnica es que, durante cada intervalo de tiempo se podrá transmitir de forma multiplexada digital o por paquetes, datos, voz y video.

La modalidad de TDMA es la ocupación total del ancho de banda asignado en el transpondedor por una sola portadora modulada; al existir sólo una portadora en cada instante transpondedor, no existe ruido de intermodulación y la potencia de salida puede ser aprovechada al máximo, de esta forma todas las estaciones terrenas que utilizan el servicio se benefician (Neri, 2003, p.243).

En la figura 30 se ilustra el acceso múltiple por división de tiempo.

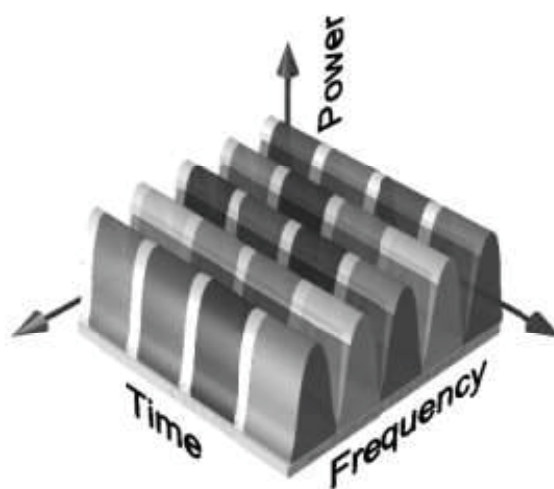


Figura 30. Acceso múltiple por división de tiempo

Tomado de Recuero, 2010

Características:

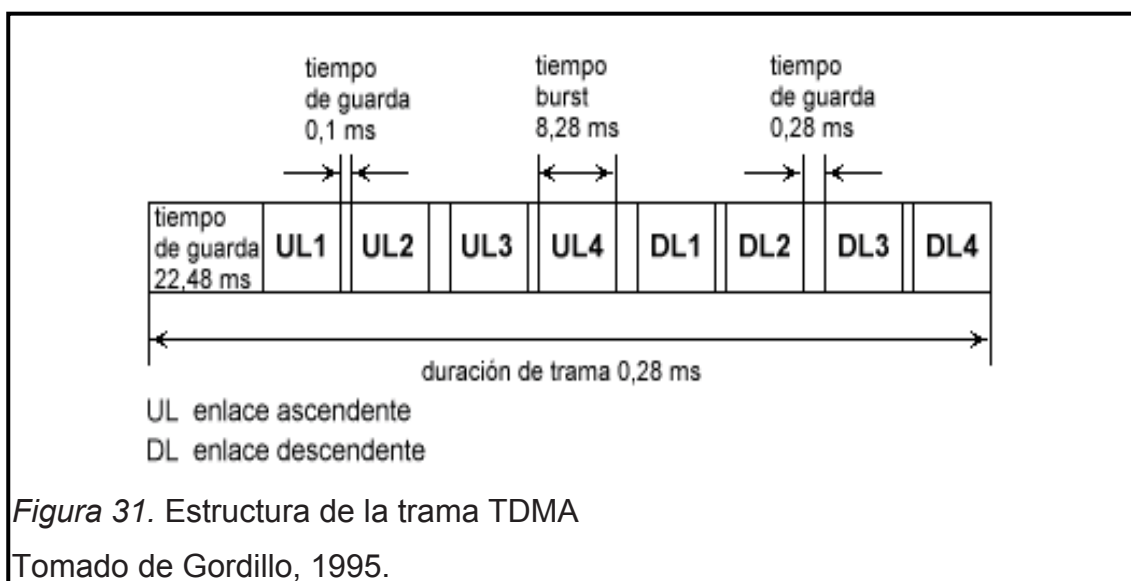
- No genera productos de intermodulación debido a que una sola portadora estará presente en el transpondedor.
- Aprovechamiento máximo de la potencia del transpondedor, es factible que el amplificador de potencia del satélite trabaje en su punto de saturación.
- No existe colisión de los paquetes de información.
- La técnica de modulación más utilizada es la modulación cuadrifásica por desplazamiento de fase QPSK.

1.5.2.1 Estructura de la trama TDMA

La trama TDMA se constituye por la secuencia completa de todas las transmisiones individuales de cada estación.

El intervalo está limitado debido al retardo ocasionado por el tiempo de propagación y su duración se fija de acuerdo con la velocidad de transmisión de datos, el número de estaciones participantes y las previsiones de tráfico.

La estructura para una trama de datos con TDMA se muestra en la figura 31.



1.5.2.2 Sincronización TDMA

El control del tiempo de las transmisiones de cada estación es determinante para evitar que las ráfagas individuales puedan llegar al satélite de forma consecutiva sin solaparse. Para ello, se transmite en primer lugar una ráfaga de referencia que servirá de base de tiempo, al que deberán ajustarse los intervalos elementales asignados para cada estación. Las variaciones introducidas durante el trayecto se corrigen a partir de la señal TDMA recibida, extrayendo el error de temporización de la señal transmitida respecto al tiempo de referencia al momento en que la señal transmitida por una estación se recibe en la propia estación a través del satélite (Gordillo, 1995, p.21).

En recepción, las ráfagas individuales transmitidas durante los intervalos guardan una posición fija y determinada en la trama con respecto a la ráfaga de referencia. De esta manera se permite al receptor identificar la transmisión deseada y detectar la información contenida en los intervalos que se presentan periódicamente.

Entre las aplicaciones más comunes que utilizan este tipo de acceso, tiene una especial importancia el sistema TDM-TDMA.

1.5.2.3 Modulación por división de tiempo-Acceso múltiple por distribución de tiempo (TDM-TDMA)

Esta técnica es la más común en los sistemas VSAT y la más efectiva en costo para las comunicaciones de topología estrella. Usa una portadora TDM única para la transmisión de datos desde una estación maestra hacia varias estaciones remotas, utilizando portadoras múltiples en modo TDMA para transmitir hacia el HUB. Este método combina las ventajas de las técnicas SCPC y TDMA en una técnica común, permitiendo la máxima utilización de la potencia disponible desde la VSAT, mientras permite el crecimiento gradual en

la utilización del transpondedor, asociada generalmente con los sistemas SCPC (Gordillo, 1995, p.22).

1.5.3 Acceso múltiple por distribución de código (CDMA)

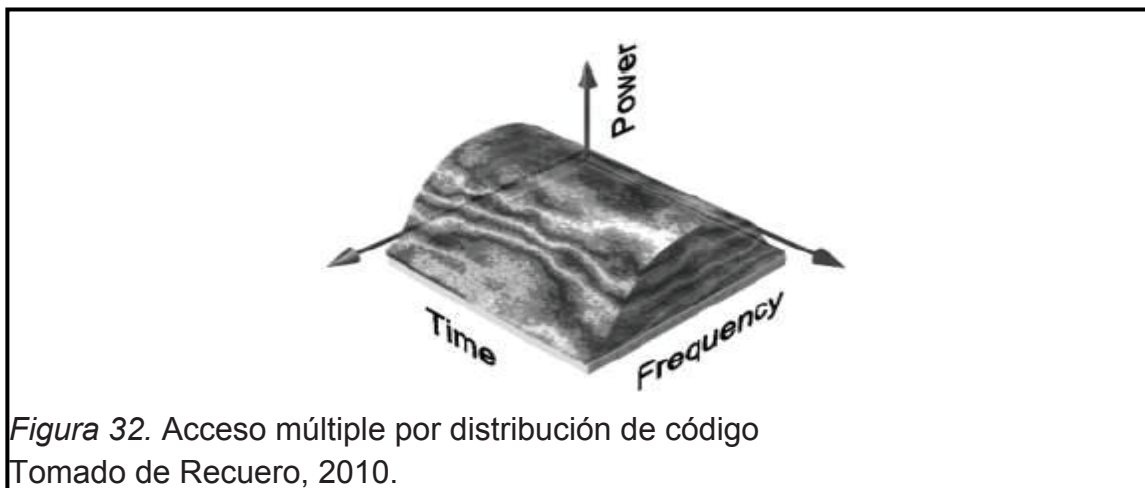
CDMA es una técnica de acceso múltiple basada en la asignación de diferentes códigos para señales en espectro expandido y limitada por interferencia.

“En ésta técnica es necesario que la señal que porta la información se haya expandido en frecuencia para lograr su distinción entre las demás. Utilizando el código asignado, el transmisor expande su señal en frecuencia mediante un codificador y la transmite al medio”. (Muñoz, 2002, p.87).

El receptor, conociendo el código utilizado por el transmisor, puede recuperar la señal mediante un decodificador y regresar la señal a banda base. El ancho de banda de la señal codificada debe ser mucho mayor que el de la señal portadora.

Debido al proceso de expansión de la señal, la modulación que utiliza esta técnica se denomina de Espectro Expandido (*Spread Spectrum*).

La figura 32 ilustra el acceso múltiple por división de código.



1.5.4 Sistema ALOHA

En un esquema de red basado en ALOHA, los paquetes recibidos por una estación se envían hacia el satélite. Si dos o más estaciones transmitieran simultáneamente existirán colisiones. En el caso de presentarse las colisiones, las estaciones implicadas retransmiten los paquetes después de esperar un tiempo aleatorio, escogido independientemente por cada una de ellas (Huidobro, 2007, p.173).

1.5.4.1 ALOHA Ranurado

Consiste en enviar los paquetes en instantes de tiempo previamente establecidos. En este método el tiempo en que se puede transmitir no es continuo sino discreto.

Esto significa que la longitud de los paquetes es fija. Esta técnica permite duplicar la capacidad del canal, aumentando de forma ligera el retardo promedio, es compatible con TDMA (Gordillo, 1995, p.24).

Desventaja:

- Circuitería compleja en la estación remota.
- Colapso con cantidad inesperada de información.

1.5.5 Acceso múltiple por asignación de demanda (DAMA)

En las técnicas detalladas anteriormente, el usuario accede al canal de forma permanente, independientemente de la cantidad de tráfico que se presente. En DAMA, el acceso al canal ocurre únicamente cuando se tiene presente el tráfico, de esta forma se optimizan los recursos del transpondedor (Gordillo, 1995, p.27).

Esta técnica consiste en reservar, mediante un mensaje corto, el canal para la transmisión de la información.

Este método es conveniente para longitudes de mensajes moderados, cuya longitud no sea mayor que la del mensaje de la solicitud del canal.

La tabla 14 detalla las técnicas de acceso al satélite dependiendo de las aplicaciones.

Tabla 14. Técnicas más utilizadas para diferentes tipos de aplicaciones

CATEGORÍA	TÉCNICA	USUARIO TÍPICO
Red privada voz/datos	MCPC-TDM/TDMA	Empresa mediana
Red privada de datos	TDM/TDMA	Prestadores de servicios
Redes gubernamentales	MCPC-TDMA	Agencias gubernamentales
Telefonía rural	SCPC-TDM/TDMA	Agencias gubernamentales estatales/federales

1.6 Técnicas de modulación digital

La presencia de información digital requiere la necesidad de desarrollar técnicas de modulación, que permitan la óptima transmisión de los datos a través de canales analógicos previamente establecidos. Esto permite emplear los mismos canales de comunicaciones analógicas ya instalados, evitando costos adicionales (unexpocom, s.f.).

En formato digital, la información puede ser almacenada, modificada y regenerada; es menos susceptible a la interferencia del canal, entre otras cualidades que la hacen mucho más atractiva que en su formato opuesto.

Un sistema de comunicación digital puede ser utilizado para transmitir información en formato analógico, para ello, la información previamente debe ser convertida de un formato al otro (unexpocom, s.f.).

Las técnicas de modulación digital se caracterizan porque la portadora es una señal analógica y la modulante es una señal digital.

Estas técnicas se clasifican en dos grupos principales:

- Técnicas de Modulación UNI-BIT: Se considera un solo bit para modular la portadora (ASK, FSK, PSK).
- Técnicas de Modulación MULTI-BIT: Se emplea un arreglo de más de un bit para modular la portadora nQAM y nPSK, $n=4, 8, 16, 32$, etc.

1.6.1 Modulación digital en amplitud (ASK)

En la modulación por conmutación de amplitud (ASK), la amplitud de una señal portadora de alta frecuencia es conmutada entre dos o más valores en respuesta a un código binario.

Cuando se detecta la presencia de un uno lógico, la portadora tiene un valor de amplitud máximo, cuando el valor detectado es un cero lógico la amplitud de la portadora es cero (unexpocom, s.f.).

En la figura 33 se grafican las señales para la portadora, modulante y señal modulada en ASK.

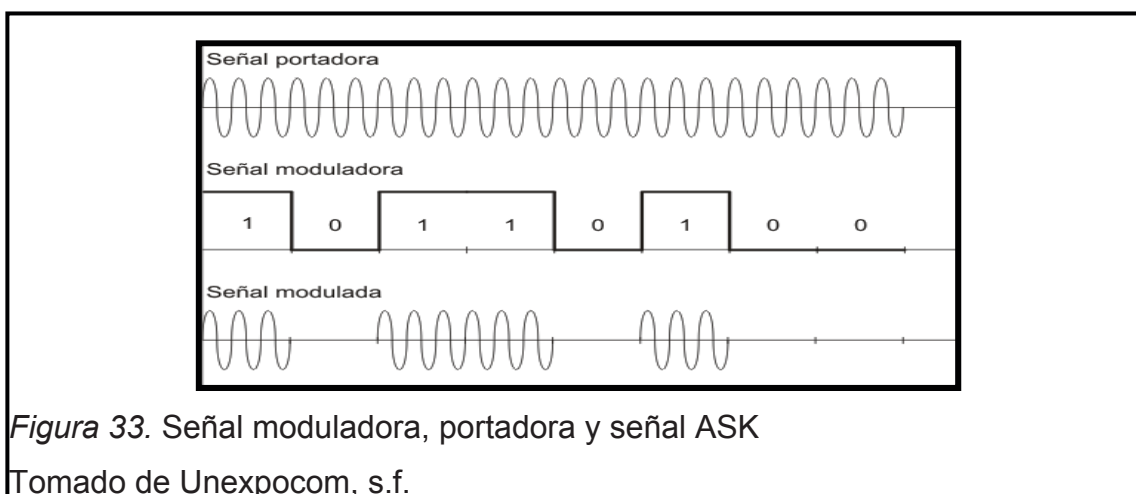
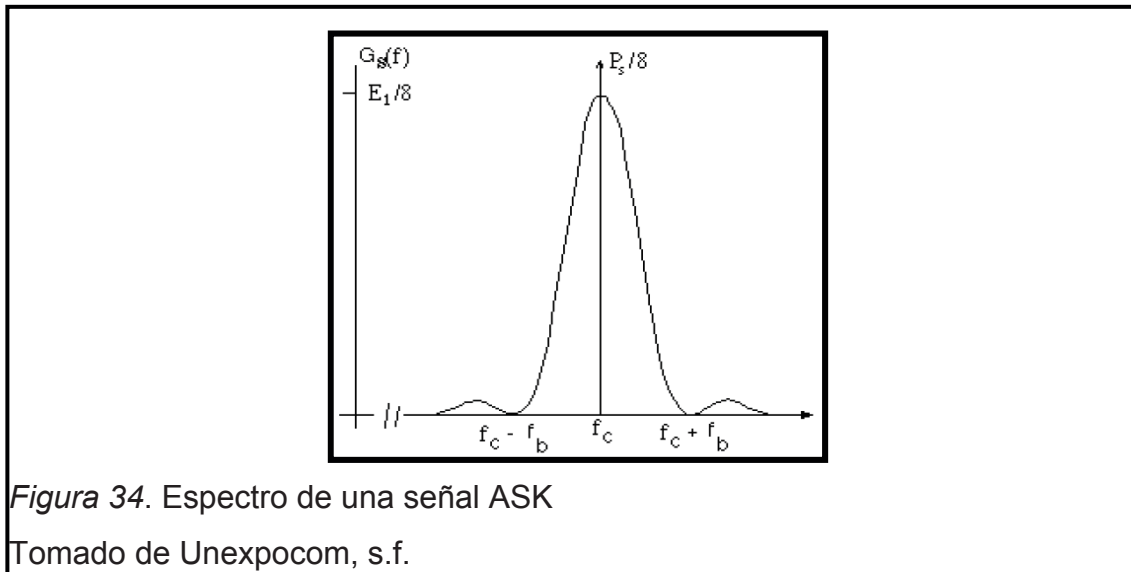


Figura 33. Señal moduladora, portadora y señal ASK

Tomado de Unexpocom, s.f.

Al igual que en el caso analógico, el propósito de la modulación de una señal de alta frecuencia por una señal modulante, es permitir la obtención de una señal con longitud de onda en el orden de un décimo o más del elemento radiante para una óptima radiación en el aire (unexpocom, s.f.).

El espectro para una señal modulada ASK es graficado a en la figura 34.



Otro parámetro de gran importancia en modulación multinivel, es el diagrama de constelación.

Se conoce como constelación a la representación gráfica de una señal modulada en función de una o varias funciones ortonormales u ortogonales de energía unitaria (unexpocom, s.f.).

Funciones ortonormales y ortogonales

Se toma como ejemplo la función seno, si ésta se desfasa noventa grados, se la graficará en el plano cartesiano tal como se demuestra en la figura 35.

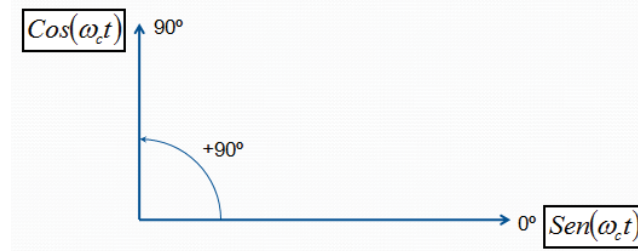


Figura 35. Funciones Seno y Coseno ortonormales.

Tomado de Unexpocom, s.f.

Se puede afirmar que el seno y el coseno son ortogonales y como el máximo valor que pueden tener es uno serán ortonormales.

De esta manera, es posible representar las modulaciones, usando como sistema de coordenadas los ejes $\text{Sen}(\omega_c t)$ y el $\text{Cos}(\omega_c t)$ (unexpocom, s.f.).

El gráfico de GASK (t) en función de $\text{Sen}(t)$ se denomina constelación. Para este caso lucirá tal como se ilustra en la figura 36.

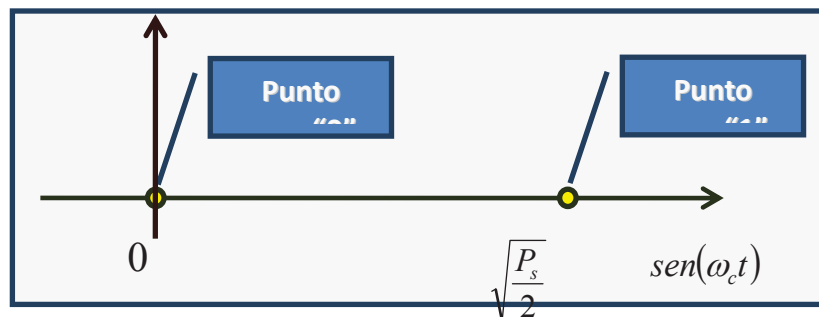


Figura 36. Constelación para una señal modulada ASK

Tomado de Unexpocom, s.f.

De la figura se deduce que, mientras mayor sea la separación entre los puntos cero y uno lógicos, la posibilidad de que uno se convierta en el otro por efectos del ruido será menor; esto es posible lograrlo con mayor amplitud de portadora (unexpocom, s.f.).

La distancia entre los posibles valores de la señal es de suma importancia, debido a que representará la fortaleza que tiene la técnica de modulación frente al ruido.

1.6.2 Modulación digital en frecuencia (FSK)

Consiste en la variación de la frecuencia de la portadora con respecto a los datos. Para uno lógico le corresponde una frecuencia F_1 y para un cero lógico emplea una frecuencia F_2 (unexpocom, s.f.).

Si la fase de la señal FSK es continua, es decir, entre un bit y el bit que sigue, la fase de la señal sinusoidal no presentará discontinuidades, a este tipo de técnica de modulación se la conoce como CPFSK (*Continuos Phase FSK*).

La figura 37 ilustra un mensaje binario y la señal CPFSK resultado de la modulación.

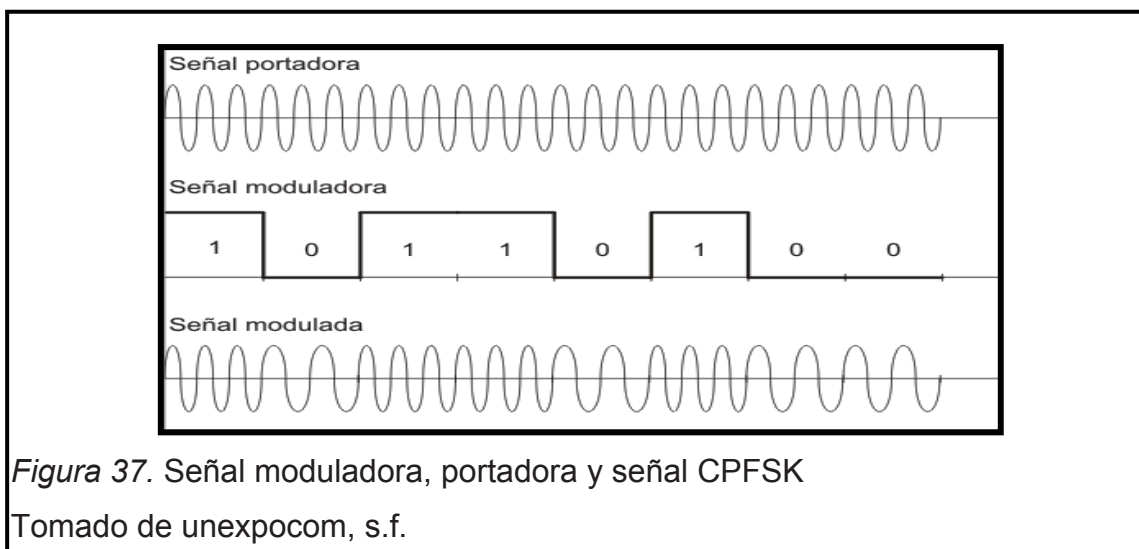


Figura 37. Señal moduladora, portadora y señal CPFSK

Tomado de unexpocom, s.f.

El espectro correspondiente a una señal FSK es el ilustrado en la figura 38.

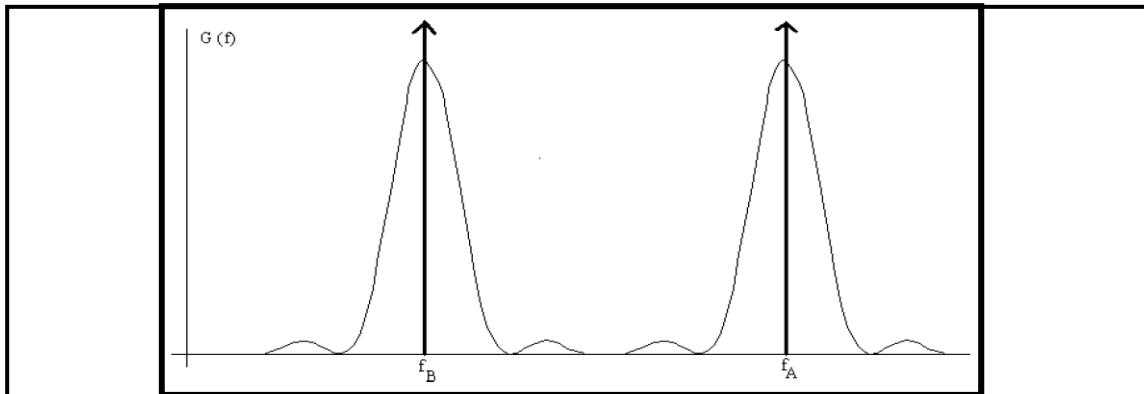


Figura 38. Espectro para una señal modulada FSK

Tomado de unexpocom, s.f.

La constelación para una modulación FSK lucirá como se demuestra en la figura 39.

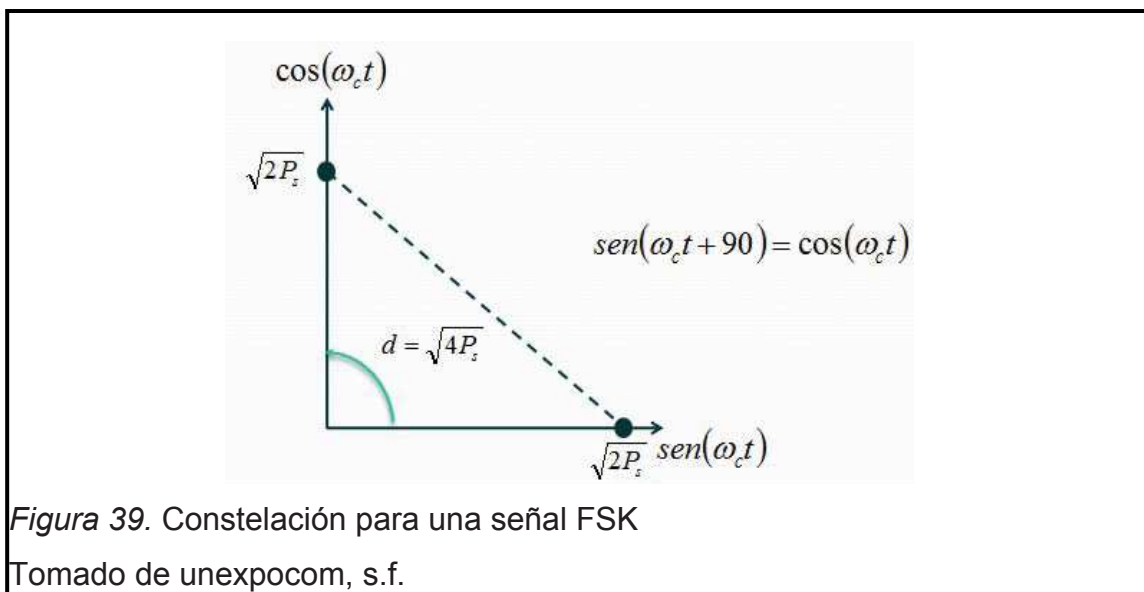


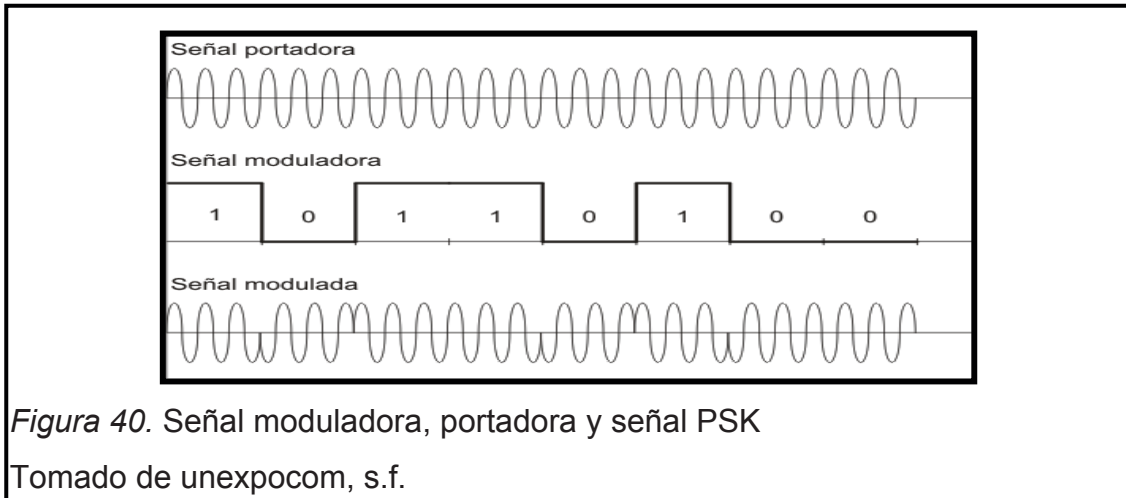
Figura 39. Constelación para una señal FSK

Tomado de unexpocom, s.f.

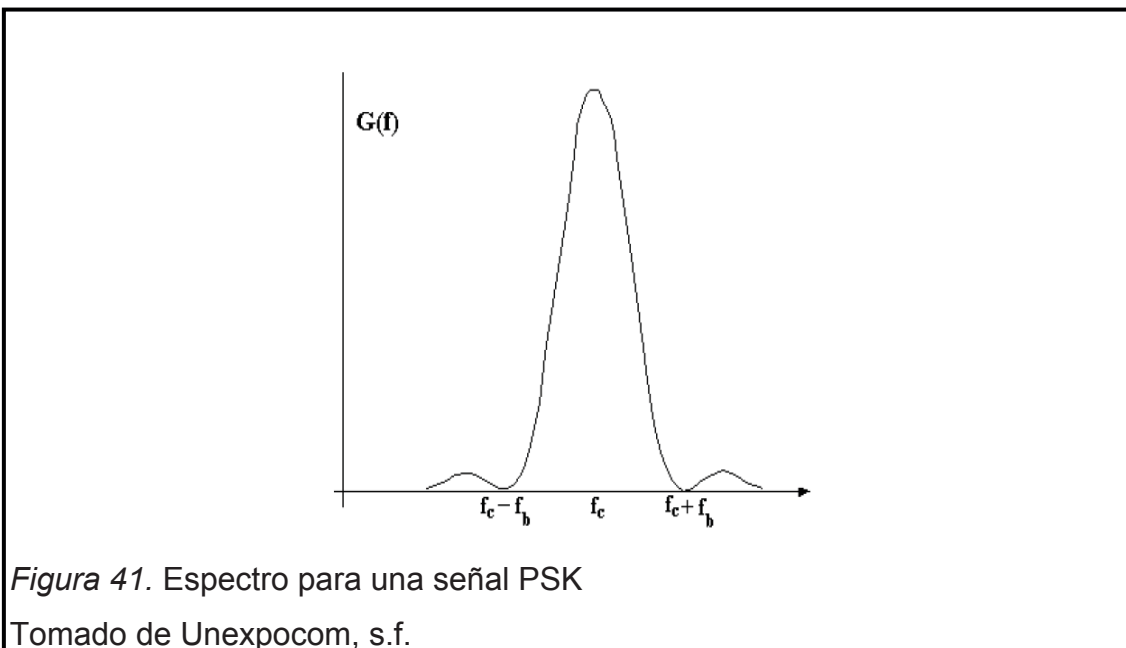
1.6.3 Modulación digital de fase (PSK)

Consiste en la variación de la fase de la señal sinusoidal de acuerdo con los datos. Para el caso binario, las fases que se seleccionan son 0 y π ; a la modulación de fase se la conoce como PRK (*Phase Reversal Keying*).

La señal resultante, modulada PSK se puede observar mediante la figura 40.

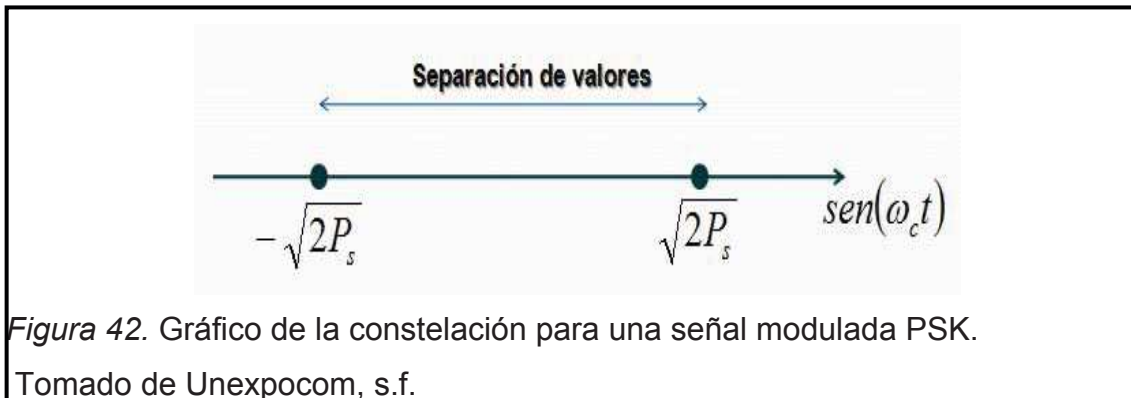


El espectro para una señal con modulación PSK se ilustra en la figura 41.



El espectro de una señal PSK es similar al espectro de una señal modulada ASK solo que en éste no se incluyen las Deltas de Dirac, implicando ahorro de potencia.

La constelación correspondiente a una señal modulada PSK se encuentra ilustrada en la figura 42, demuestra que esta técnica de modulación presenta una distancia mayor entre los puntos; por lo tanto, se concluye que esta técnica es la que presenta mayor fortaleza frente al ruido.



Las técnicas de modulación digital son utilizadas por módems de alta velocidad para transmisión VSAT, no todos los modems utilizan la misma técnica de modulación.

Un módem de alta velocidad es aquel capaz de transmitir tasas elevadas de bits y, por lo tanto, grandes cantidades de información.

El empleo de alguna de las técnicas de modulación explicadas, implica modular la señal portadora a la alta tasa de cambio de bit de la señal moduladora.

1.7 Monitoreo sísmico

1.7.1 Red de monitoreo sísmico

Una red de monitoreo sísmico tiene por objeto ayudar a determinar la localización de un sismo (regional o local), su intensidad y magnitud. Los equipos actualmente utilizados para el monitoreo son de alta tecnología, fáciles

de manejar, por lo general su instalación no es complicada aunque en muchas ocasiones toma tiempo realizarla.

Existen tres clases principales de estaciones sísmicas:

- Estaciones sísmicas Multiparamétricas
- Estaciones sísmicas Banda Ancha
- Estaciones sísmicas de Período Corto

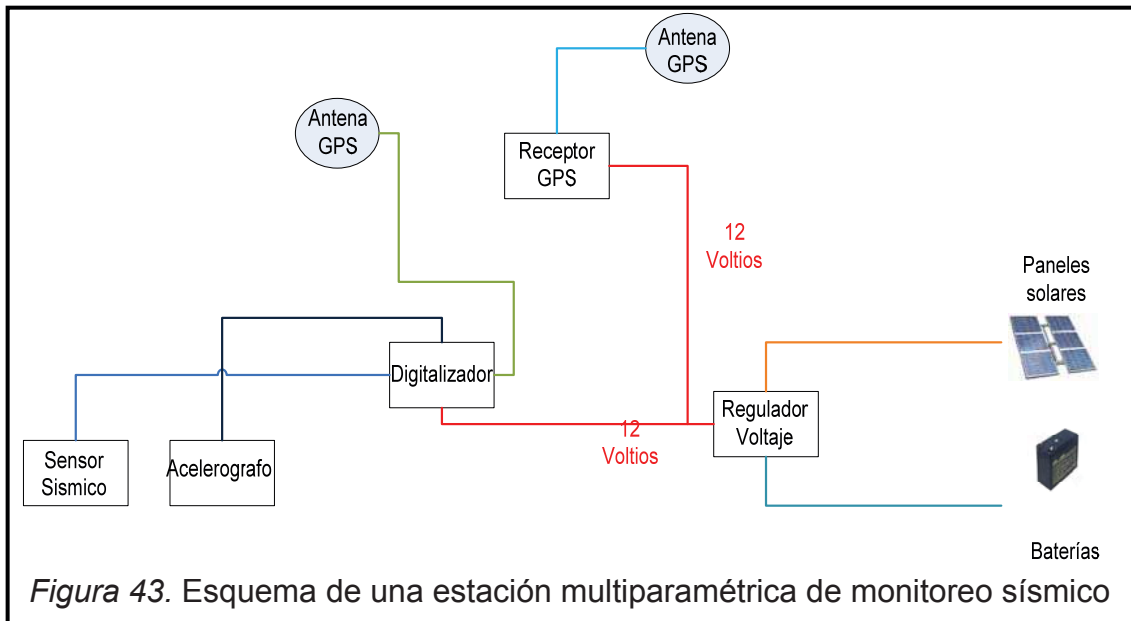
1.7.1.1 Estaciones sísmicas Multiparamétricas

Son estaciones completas y complejas. Como su nombre indica, los parámetros analizados son numerosos, tales como:

- Ubicación de la estación (latitud, longitud y altura).
- Información acerca de la localización de un evento (latitud, longitud y altura).
- Magnitud de un evento sísmico.
- Intensidad y velocidad de propagación de la onda sísmica.
- Número de explosiones que ocurren en una erupción volcánica (sensores de infrasonido).
- Cantidad de CO₂ emitido por un volcán.
- Deformación del suelo (ejes radial y axial).
- Volumen de lahares que bajan por las laderas de un volcán.

Generalmente instaladas en sitios estratégicos, muchas de ellas se encuentran alejadas de zonas pobladas ya que el ruido es una fuente de interferencia importante e impide la correcta interpretación de los datos adquiridos.

A continuación en la figura 43 se observan los principales componentes de una estación sísmica Multiparamétrica.

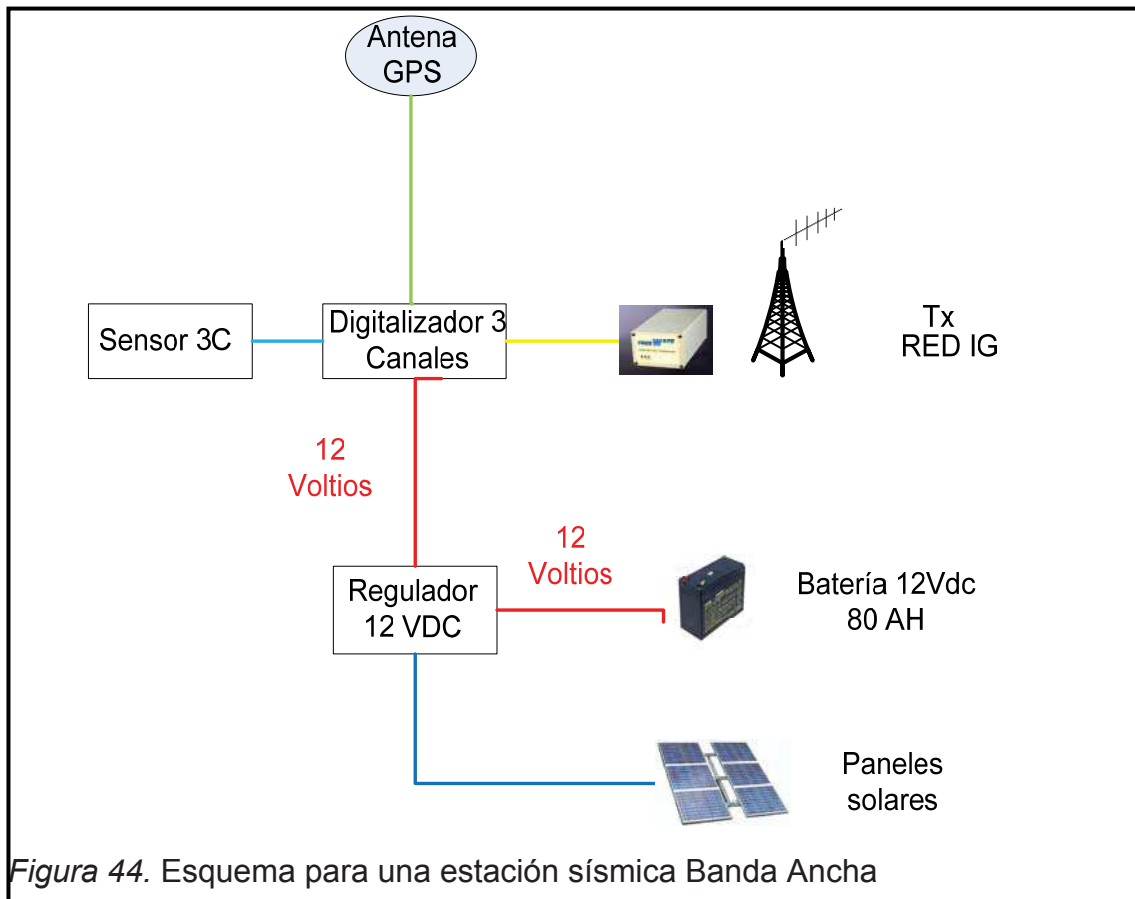


1.7.1.2 Estaciones sísmicas Banda Ancha

Una estación sísmica de Banda Ancha es aquella encargada de la detección de un evento y de obtener su localización, a diferencia de la estación multiparamétrica, ésta no cuenta con una base de GPS.

Por lo general este tipo de estaciones son ubicadas en zonas de bajo ruido, en lugares altos, cerca de volcanes, permitiendo también el monitoreo de la actividad volcánica dependiendo de su lugar de instalación. Mediante el uso de sensores de infrasonido, este tipo de estaciones son capaces de detectar el número de explosiones que ocurren antes, durante y después de una erupción volcánica.

En la figura 44 se observan los principales componentes de una estación sísmica Banda Ancha.

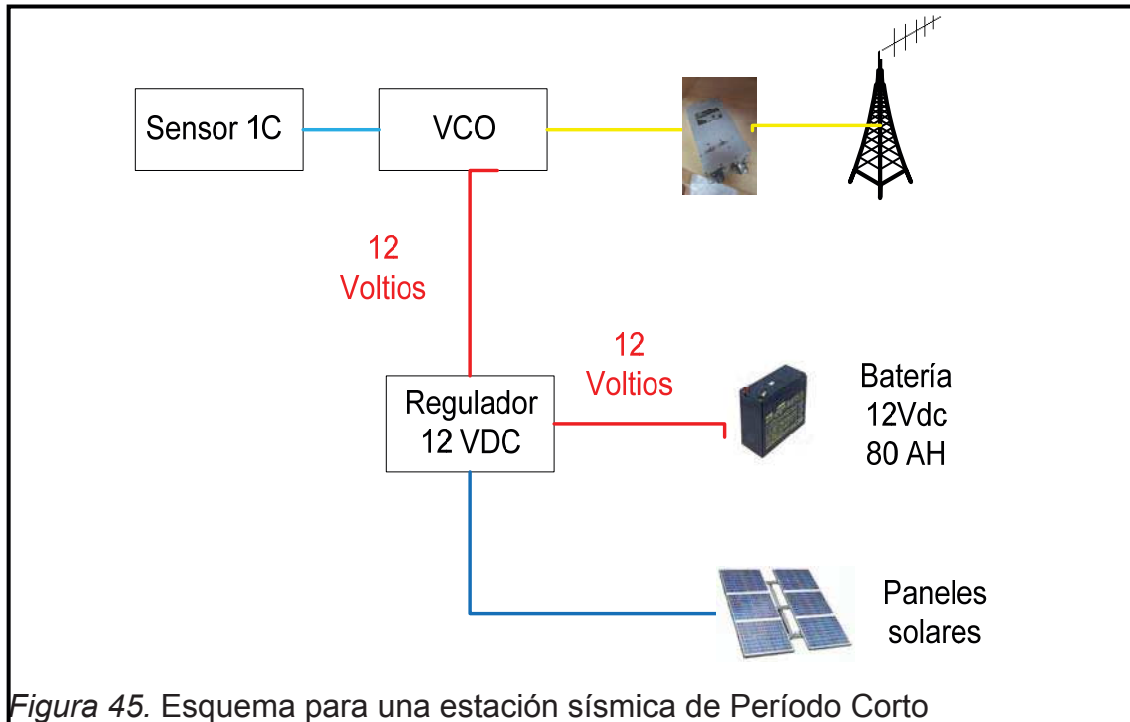


1.7.1.3 Estaciones sísmicas de Período Corto

Constituye la estación más sencilla, con transmisión analógica y sensores simples de una componente. Por lo general son utilizadas para la localización de sismos regionales, son la base para la interpretación de magnitud e intensidad de eventos telúricos y/o erupciones volcánicas.

Con este tipo de estaciones es imposible detectar el número de explosiones existentes antes, durante y después de una erupción volcánica. Esto se debe a la sencillez de sus componentes.

La figura 45 ilustra con claridad la composición de una estación de Período Corto



1.8 Monitoreo Volcánico

Una red de monitoreo volcánico tiene por objeto principal controlar la actividad de un volcán o conjunto de volcanes.

Está en parte constituida de manera similar a un red de monitoreo sísmico, sólo que con algunas variantes.

Existen estaciones de monitoreo volcánico compuestas por un sensor sísmico, digitalizador y GPS pero hay otras que en adición a lo anterior poseen estaciones cuantificadoras de CO₂ y detectores de lahares, las cuales cuantifican el material que corre por la ladera del volcán, éste material se encuentra almacenado en la parte superior, cerca del cono de la montaña y desciende debido a fuertes lluvias o a explosiones de gran magnitud con contenido de flujos piroclásticos.

CAPITULO II

2. Antecedentes y requerimientos de la red

En el presente capítulo se detalla la situación actual de la red de monitoreo del Instituto, sus aspectos vulnerables y los requerimientos necesarios para su adecuado funcionamiento y mejoría.

2.1 Estado actual de la red de monitoreo del Instituto Geofísico

La red de monitoreo del Instituto Geofísico Nacional está compuesta por un número extenso de estaciones, cada una de ellas instalada para cumplir un propósito diferente.

Debido a que el Ecuador es un país volcánico y ubicado en una zona de fallas tectónicas notables y de gran importancia, la necesidad geológica de monitorización ha provocado un crecimiento descontrolado y desordenado de la red, presentando entre muchos otros problemas:

- Pérdida de datos
- Saturación de los canales de transmisión en las repetidoras
- Descuido en el mantenimiento de la red
- Interferencia entre las mismas repetidoras del IG

Se han contabilizado alrededor de 80 estaciones (sísmicas y volcánicas) y 32 repetidoras (digitales y analógicas), todas ellas a lo largo del continente ecuatoriano.

A pesar de la cantidad de instrumentación instalada, existen lugares los cuales constituyen una fuente sísmica y/o volcánica importante en los que no se ha podido instalar equipos debido a que se encuentran en zonas de difícil acceso,

es decir no existe línea de vista directa hacia repetidoras, las mismas que permiten la llegada de los datos al IG en Quito a tiempo real.

2.1.1 Radioenlaces

La mayor parte de la Red de monitoreo tanto sísmico como volcánico se transmite en tiempo real empleando radioenlaces, desde varios puntos en el territorio ecuatoriano hacia los sitios de repetición instalados generalmente en zonas altas, permitiendo así la transmisión de los datos hacia Quito.

Cuatro son las redes de radioenlaces para la transmisión de los datos en tiempo real:

- Red de Microondas digital (2.4-5.8 GHz)
- Red de Microondas digital (7.4-7.8 GHz)
- Red Analógica (400-412 MHz)
- Red digital (902-928 MHz)

2.1.1.1 Red de Microondas digital (2.4-5.8 GHz)

Diseñada e instalada en Mayo del 2006 exclusivamente para el monitoreo de la actividad eruptiva de los volcanes Tungurahua y Cotopaxi. Consiste en el aporte tecnológico de la Agencia de Cooperación Internacional del Gobierno Japonés (JICA) para el Ecuador.

La ubicación de los sitios de monitorización fue escogida por el grupo de sismólogos que laboran en el Instituto, los sitios de repetición fueron determinados por los ingenieros del Área Técnica del Instituto, se realizaron pruebas de radioenlaces digitales y se determinó la existencia de línea de vista directa entre las estaciones y repetidores.

Las frecuencias de operación entre repetidoras es de 5.8 GHz, mientras que la frecuencia de operación entre estación y repetidora es de 2.4 GHz.

Al inicio del proyecto toda la red funcionaba en la banda de 2.4 GHz, pero debido a la interferencia provocada por equipos de transmisión digital ubicados en las repetidoras y los cuales trabajaban en la misma frecuencia provocando una molesta interferencia, se decidió mudar de banda, con esto se logró un mejor nivel de enlace y menor pérdida de paquetes.

Previa a la instalación de la red se realizaron los respectivos estudios de frecuencias, los mismos que fueron aprobados por la SENATEL para su posterior implementación.

Ventajas e la Red:

- Se mejoró el monitoreo sísmico y volcánico en las provincias de Cotopaxi y Tungurahua.
- Esta red fue la pionera para la implementación de transmisión digital en el Instituto.
- Otras estaciones digitales que antiguamente no tenían transmisión en tiempo real fueron incluidas en la red y transmitidas hacia Quito con tiempos mínimos de retardo (<10 ms).
- Gran ancho de banda:
 - Radios Cisco (Estaciones):
 - Distancias menores a 10 Km: 28 Mbps
 - Distancias menores a 30 Km: 11 Mbps
 - Radios Airaya (Repetidoras): 1-108 Mbps
- Fácil acceso a los sitios de repetición debido a que los mismos consisten en puntos estratégicos a nivel Nacional.
- En Quito se tienen servidores dedicados:

- 2 Servidores para adquisición de datos: un servidor para datos de Cotopaxi, un servidor para datos de Tungurahua.
- 2 Servidores para el procesamiento de datos: un servidor para datos de Cotopaxi, un servidor para datos de Tungurahua.
- 2 Servidores para la visualización de las trazas: un servidor para datos de Cotopaxi, un servidor para datos de Tungurahua.

Desventajas de la red:

- Los equipos de transmisión son diseñados para ambientes urbanos, cuando son sometidos a fuertes condiciones climáticas como extremo frío y lluvia se producen inconvenientes e inclusive daños. Por este motivo se los protege con cajas térmicamente diseñadas.
- La potencia de los equipos es baja, entre 80 y 100 mW, la misma que está compensada por la ganancia de las antenas ubicadas en las estaciones y repetidoras.
 - 32 dB en repetidoras
 - 24 dB en estaciones

La inversión que JICA realizó para la implementación de la red fue de aproximadamente 5 millones de dólares americanos, los cuales incluyeron equipos, sistema de puesta a tierra, torres de transmisión, movilización de personal, herramientas y combustible.

A continuación en la figura 46 se observa al personal del IG dando mantenimiento a una estación digital JICA.



En la figura 47 se detalla el diagrama de la red de monitoreo.

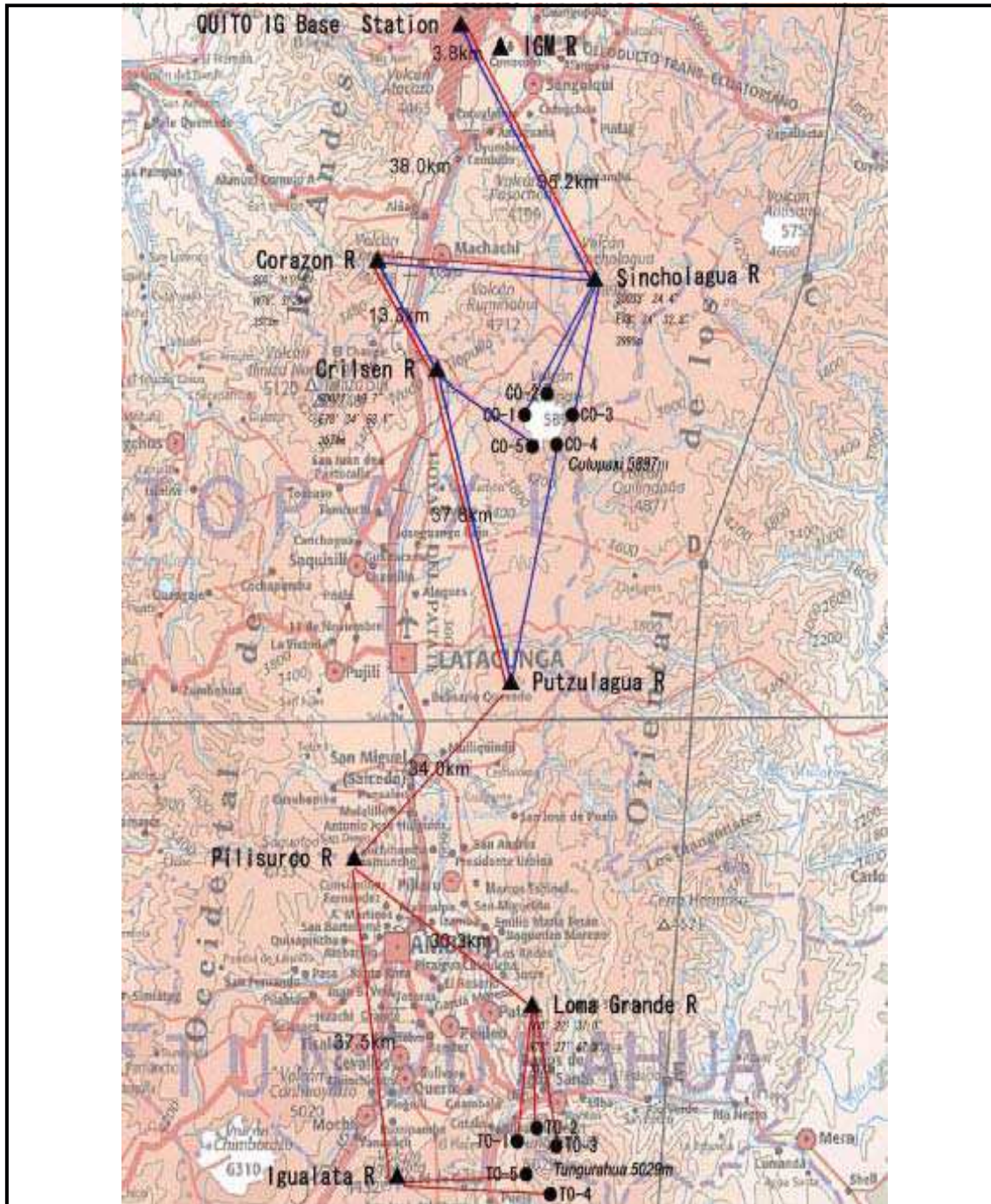


Figura 47. Red de microondas digital JICA

Tomado de: Yamasaki Hiroshi, 2006

▲ Repetidora: 2.4 GHz

● Estación: 5.8 GHz

Los enlaces con color azul forman parte de la red para el monitoreo del volcán Cotopaxi, los enlaces de color rojo forman parte de la red para el monitoreo del volcán Tungurahua.

Existen repetidoras que forman parte de ambas redes, pero las vías son separadas por radios diferentes.

Gracias a la implementación de ésta red se logró determinar sismos y eventos a bajas frecuencias (entre 1-100 Hz) debido a la presencia de sensores de infrasonido. De esta manera se permitió interpretar de mejor manera el comportamiento de los volcanes Cotopaxi y Tungurahua.

2.1.1.2 Red de Microondas digital (7.4-7.8 GHz)

Ubicada a lo largo de las provincias de Cotopaxi, Tungurahua, Pichincha, Imbabura y Napo, diseñada e instalada con el objetivo de concentrar, repetir y llevar las señales de las estaciones provenientes de los edificios volcánicos situados en dichas provincias, de las fallas geográficas y tectónicas situadas en las zonas respectivas y de los sitios que constituyen una fuente de sismicidad permanente hacia el IG en Quito.

Personal del Instituto conjuntamente con técnicos de la empresa de telecomunicaciones SIAE realizó visitas técnicas a las principales repetidoras ubicadas en los puntos más altos de dichas provincias para realizar barrido de frecuencias y determinar posibles interferencias entre las bandas de 7.4 y 7.8 GHz.

Una vez determinada la factibilidad de implementación de dicha red, mediante Decreto de Emergencia, el Instituto realizó contrato directo con la empresa de telecomunicaciones SIAE Microellectronica para llevar a cabo la instalación de la red de microondas mencionada.

Los sitios de monitorización fueron establecidos por el personal del área de sismología del IG, la red de microonda fue diseño exclusivo del personal técnico de la empresa privada SIAE Microellectronica C.A. Con ayuda de los ingenieros del Área de Instrumentación del Instituto se determinaron los sitios donde debían ser ubicados los principales nodos de la red.

La comunicación entre las estaciones de monitoreo y las repetidoras que conforman la red de microonda se la realiza mediante radioenlaces, los mismos que trabajan entre los 902 y 928 MHz. Generalmente se establece comunicación directa entre los sitios con la repetidora, rara vez se requiere de una repetidora adicional para alcanzar el nodo de microonda. Si se da éste caso, el enlace adicional también se lo establece entre 902 y 928 MHz.

La implementación de esta red permitió la concentración de varias estaciones en un solo punto de repetición, no sólo de sitios ubicados en zonas rurales, sino también en zonas metropolitanas en donde el IG tiene acelerógrafos instalados de manera permanente, los mismos que en un principio no poseían transmisión en tiempo real y permanecían grabando datos hasta que los técnicos del Instituto procedían a respaldarlos.

Ventajas de la red:

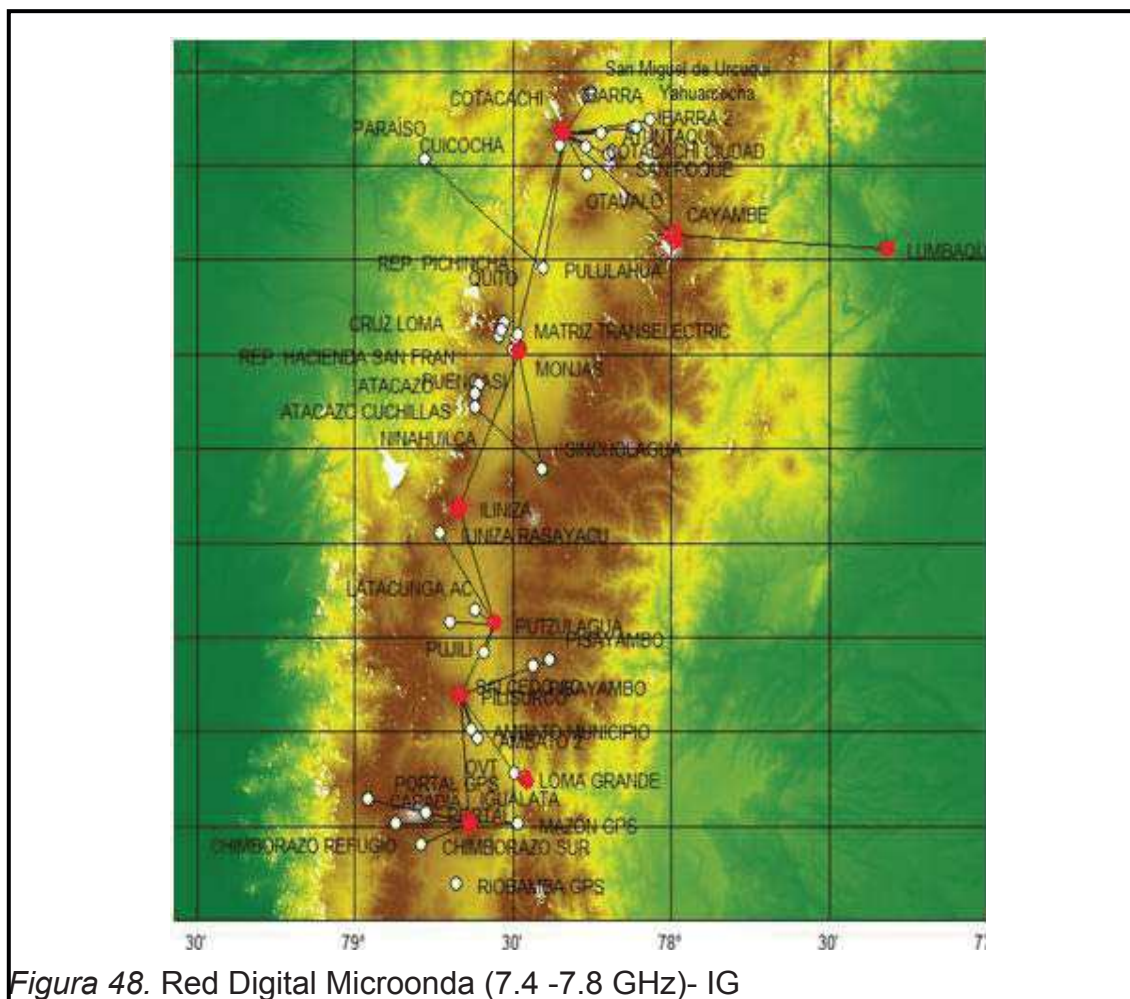
- Permitted the implementation of monitoring in zones that previously did not have in licensed frequency bands.
- Large bandwidth, generally 8 Mbps but expandable to 64 Mbps if the diameter of the antennas is increased.
- Excellent post-sale service provided by SIAE (training of IG personnel, maintenance of nodes, technical advice, etc.).

Desventajas de la red:

- Problemas con la alimentación, en tres ocasiones la red dejó de operar por fallas en las fuentes de alimentación.
- La operatividad de la red fue afectada por trámites burocráticos, los mismos que fueron requeridos para la implementación de medidores de energía eléctrica en algunas repetidoras.

La inversión total de la red fue de 120.000 dólares americanos y formó parte del proyecto que el SENESCYT mantuvo con el Instituto desde Enero del 2010 hasta Mayo del 2013.

A continuación se detalla la red de microonda en la figura 48.



Los puntos en rojo representan los nodos (repetidoras) que forman parte de la red de microonda, los puntos blancos representan a las estaciones de monitoreo.

2.1.1.3 Red Analógica (400-412 MHz)

Consiste en la red más antigua del IG, conformada por estaciones sísmicas de período corto y detectores de lahares con sus respectivas repetidoras. Se encuentra instalada a lo largo de gran parte del país.

En la actualidad la red de período corto presenta muchas falencias debido al deterioro de sus componentes y la falta de repuestos para su correcto mantenimiento.

La primera estación de éste tipo fue instalada en la zona del Volcán Cayambe para su monitorización en el año de 1987.

Una gran ventaja de esta red es la presencia de enlaces a gran distancia (baja frecuencia) comunicando puntos lejanos sin necesidad de establecer repetidores intermedios.

La figura 48 muestra una estación de período corto, compuesta por los siguientes elementos:

- VCO analógico (oscilador controlado por voltaje).
- Radio de transmisión analógica.
- Cable coaxial RG8 para antena.
- Vatímetro para medir las potencias reflejada y normal.
- Baterías de 80 AH.
- Panel solar 80 Vatios.
- Equipos de medición.

Generalmente el sensor es instalado a pocos metros de los equipos, siempre se busca un lugar con roca firme para colocarlo, es centrado y enterrado, en algunas ocasiones se colocan plásticos alrededor para evitar que agua filtre dentro del sensor.

Actualmente a la red de período corto se la está reemplazando por estaciones con transmisión digital (900 MHz).

En la figura 49 se ilustran los componentes básicos de una estación sísmica de período corto.

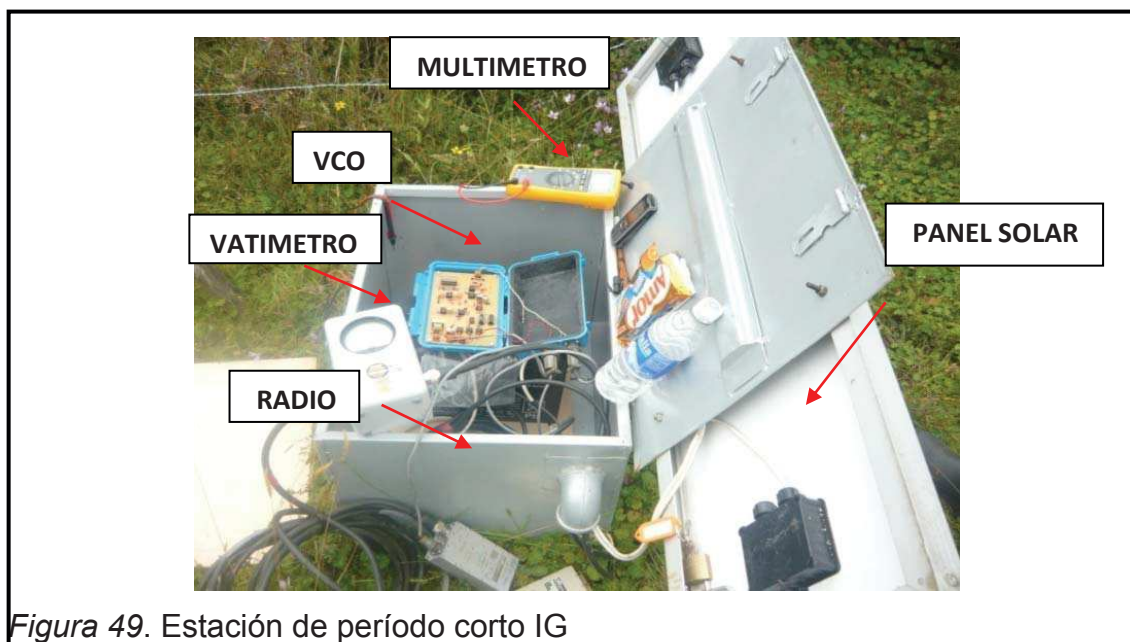


Figura 49. Estación de período corto IG

Ventajas de la red analógica:

- Comunicación a gran distancia entre estaciones y repetidores
- Fácil instalación, poca inversión inicial.
- Tecnología nacional, las tarjetas electrónicas son diseñadas y armadas en el IG.

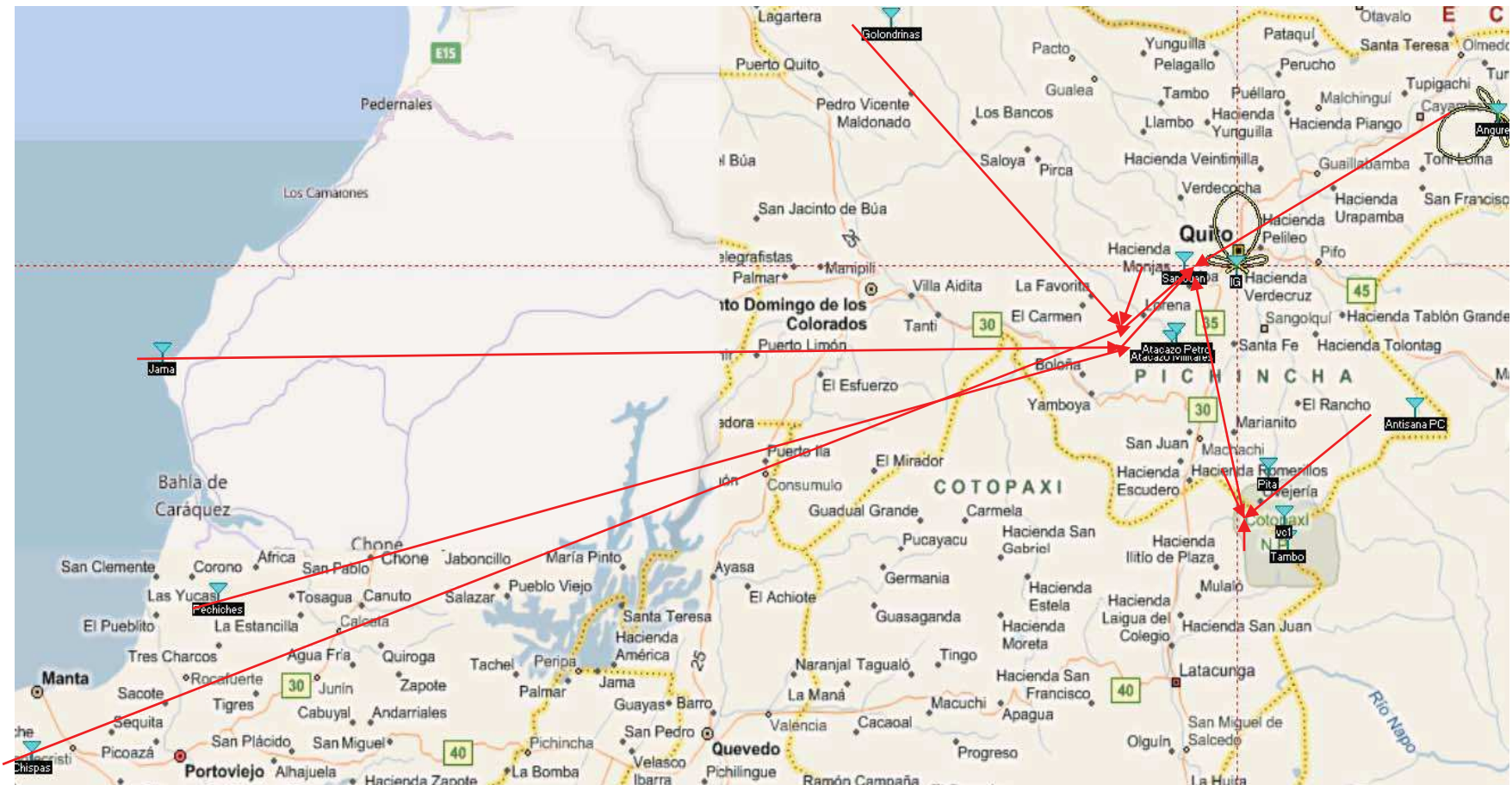


Figura 51. Red Analógica 2 Período Corto- IG

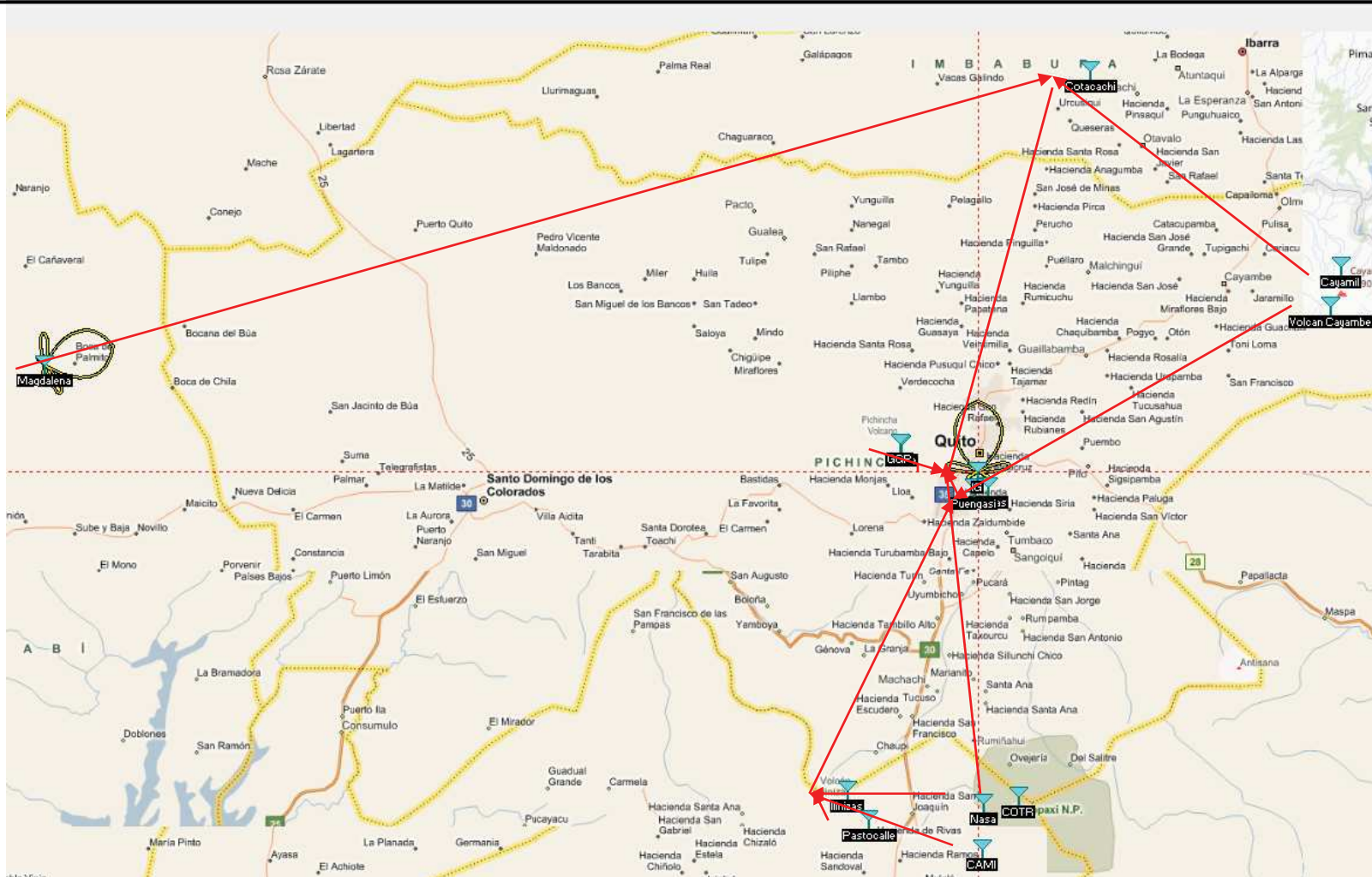


Figura 52. Red Analógica 3 Período Corto - IG

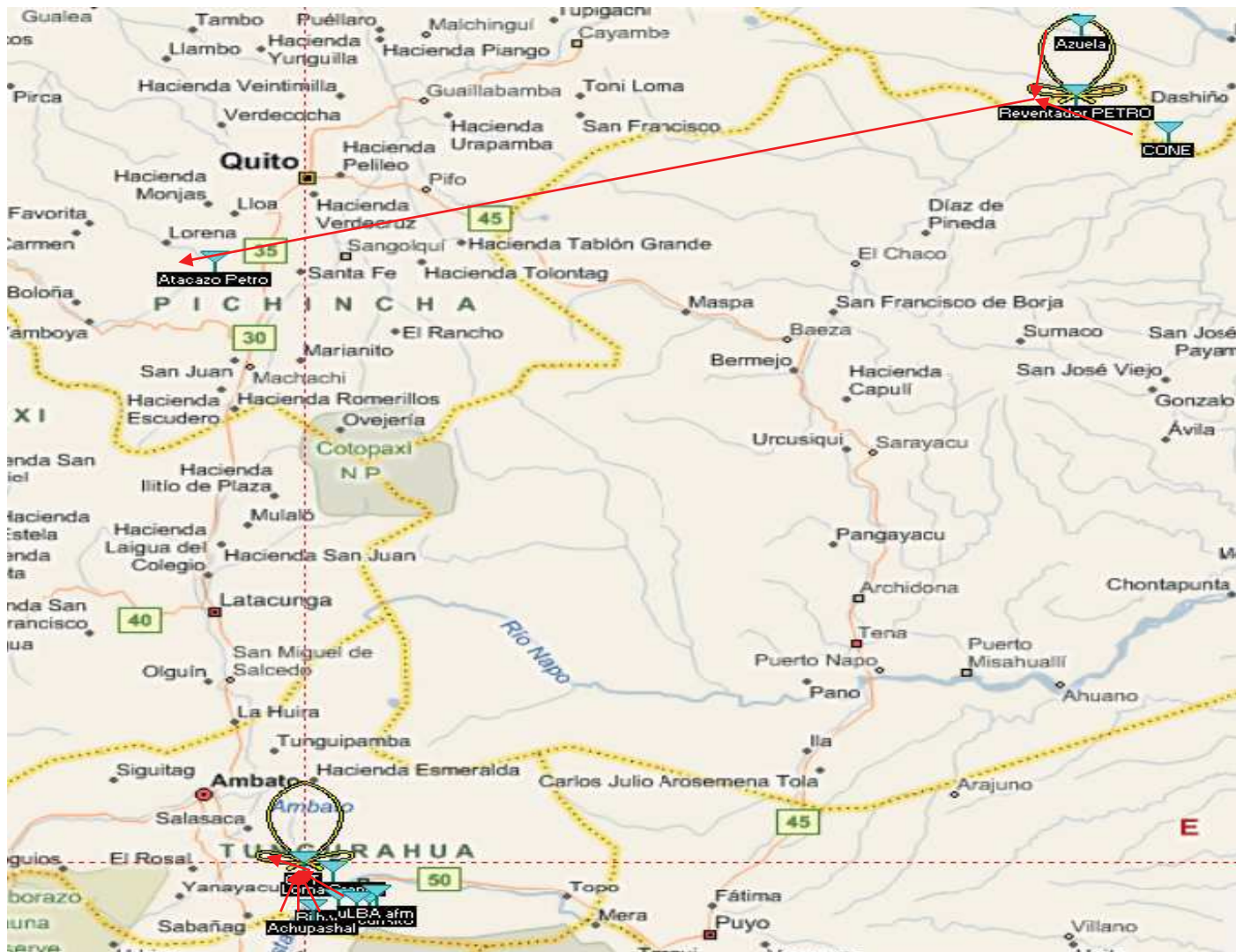


Figura 53. Red Analógica detectora de lahares Tungurahua-Reventador- IG

2.1.1.4 Inconvenientes presentados en Radioenlaces

- Fallas en la transmisión y/o recepción de datos por inconvenientes meteorológicos.
- Obsolescencia de algunos equipos que por ser muy antiguos carecen de repuestos.
- Saturación de canales en la recepción de datos a 900 MHz provocando pérdidas de los paquetes.
- Averías en el sistema de alimentación; en la mayor parte de los casos, las estaciones son instaladas en lugares donde no existe abastecimiento de energía eléctrica, por lo que los equipos son alimentados con baterías, las mismas son recargadas con sistemas de paneles solares. Muchas veces la presencia de sol no es suficiente para cargar al 100% al sistema, es entonces cuando las estaciones se apagan y dejan de transmitir.

2.1.1.5 Equipos que actualmente funcionan para los Radioenlaces

Para presentar de manera detallada y organizada los diferentes equipos que son utilizados actualmente para los diferentes enlaces de radio del Instituto Geofísico Nacional se han elaborado las siguientes tablas, contienen las principales características de los mismos.

Tabla 15. Equipos para la red de radioenlaces (902-928 MHz)

Equipo	Marca	Modelo	Características
Radio	Free Wave	FGR2-PE	<ul style="list-style-type: none"> • Ancho de banda 230 Kbps. • Alcance: 96 Km con línea de vista. • Modulación: GFSK • Spread Spectrum
Antena	Diseño exclusivo IG	Yagui	Ganancia 11Db
Cable Coaxial		RG8	Impedancia: 50 Ohmios

Tabla 16. Equipos para la red de microonda (2.4-5.8 GHz)

Equipo	Marca	Modelo	Características
Radio	Airaya	AI108-4958-O	<ul style="list-style-type: none"> Ancho de banda 1-108 Mbps. Alcance: 30 Km con línea de vista. Modulación: OFDM Frecuencia: 5.2-5.8 GHz.
Radio	Cisco	AIR-BR1310G-A-K9-R	<ul style="list-style-type: none"> Ancho de banda 11-28 Mbps. Alcance: 30 Km con línea de vista. Modulación: 16QAM Frecuencia: 7.4-7.8 GHz.
Power Injector	Cisco	LR2	10/100 Base T Ethernet a Interface Tipo F dual para conectores coaxiales.
Antena	Create Design	Yagui	Ganancia 22 Db
Antena	Radio Wave	Parabólica	Ganancia 24 Db

Tabla 17. Equipos para la red de microonda (7.4-7.8 GHz)

Equipo	Marca	Modelo	Características
IDU	SIAE	ALCplus2 1+	<ul style="list-style-type: none"> Ancho de banda: 7 MHz. Modulación en LIM^a: QAM Modulación en RIM^b: QAM, 4QAM, 8PSK, 16QAM, 32QAM, 64QAM, 128QAM, 256QAM Frecuencia: 7.1-8 GHz.
ODU	SIAE	AS	<ul style="list-style-type: none"> Conversión de señal QAM a RF.
Antena	Comelit	Parabólica	Ganancia 30 dBi

a: Módulo interfaz de línea.

b: Módulo interfaz de radio.

2.1.2 Enlaces LAN

Gracias al convenio establecido entre la Escuela Politécnica Nacional y Transelectric-CELEC-EP el Instituto Geofísico cuenta con el acceso a la red de fibra óptica de TE, la cual concentra en varios puntos del país a un gran número de estaciones, la mayor parte de ellas situadas en la Costa y Austro ecuatorianos.

Se tendió fibra óptica desde las instalaciones de la matriz de Transelectric, ubicada en la Av. 6 de Diciembre en la ciudad de Quito, hasta la Escuela Politécnica Nacional, el recorrido total es de 3 Km. La empresa encargada del tendido de la fibra fue Translec S.A, la misma que es parte de TE.

El recorrido de la fibra es el siguiente:

1. Ladrón de Guevara (Politécnica Nacional)
2. Toledo
3. Madrid
4. Mariscal Foch
5. 6 de Diciembre (Matriz TE)

El convenio firmado es renovable por 4 años.

El costo total del tendido de la fibra y alquiler de los postes a la Empresa Eléctrica fue de 35000 dólares.

Radioenlaces en frecuencias entre 900-928 MHz son establecidos entre las diferentes estaciones hacia las repetidoras y nodos de Transelectric según la necesidad.

Los sitios para monitoreo sísmico fueron establecidos por el personal de sismología del IG.

Una vez establecidos los sitios, se determinaron los nodos de fibra óptica más cercanos con los que se tiene línea de vista limpia y directa. De esta manera se garantizó la comunicación entre Estación- Repetidora.

Los datos ingresan a la red del IG mediante el nodo de FO que Transelectric instaló en el Instituto, de esta manera los datos de las estaciones son recibidos en tiempo real.

Previamente se deben realizar los estudios respectivos para obtener la aprobación de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones SENATEL, la cual es requerida para los radioenlaces intermedios (900 MHz) este procedimiento es el mismo para cualquier tipo de red con transmisión de datos por radio en tiempo real que se desee instalar en territorio Ecuatoriano.

Ventajas de la red:

- Costo- Beneficio: esta red costó menos de la mitad que las demás redes anteriormente descritas y otorga una cobertura muy buena para el monitoreo sísmico en el Ecuador.
- Ancho de banda muy bueno, 2 Mbps.
- Tiempos de retardo aproximados de 2ms.
- Disponibilidad en gran parte del país.

Desventajas:

- Se presentaron problemas en el funcionamiento de los convertidores de Ethernet/E1 en más de dos ocasiones.
- En algunos casos las subestaciones de TE entran en mantenimiento y solicitan al IG apagar los equipos para proceder con sus trabajos. Generalmente éste tipo de eventos ocurren una vez al año y duran un promedio de 1 día laborable.
- Se ha presentado interferencia electromagnética producida por los cables de alta tensión ubicados en las subestaciones, la misma que

ocasiona pérdidas en el cable coaxial que va desde la antena hacia el radio digital de 900 MHz.

En las siguientes figuras se detallan gráficamente los enlaces de fibra óptica que el Instituto Geofísico estableció a través de la red de Transelectric EP.

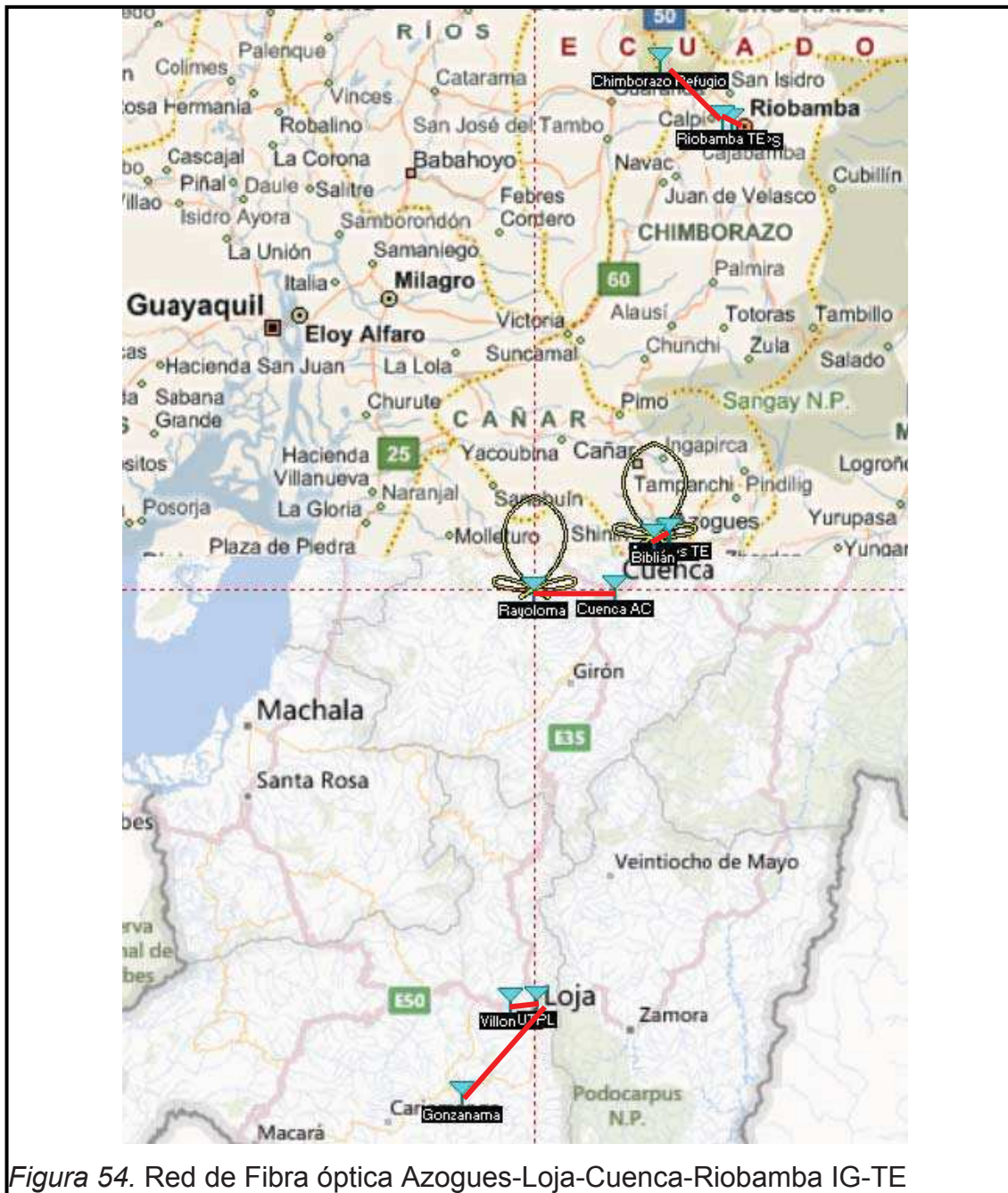


Figura 54. Red de Fibra óptica Azogues-Loja-Cuenca-Riobamba IG-TE

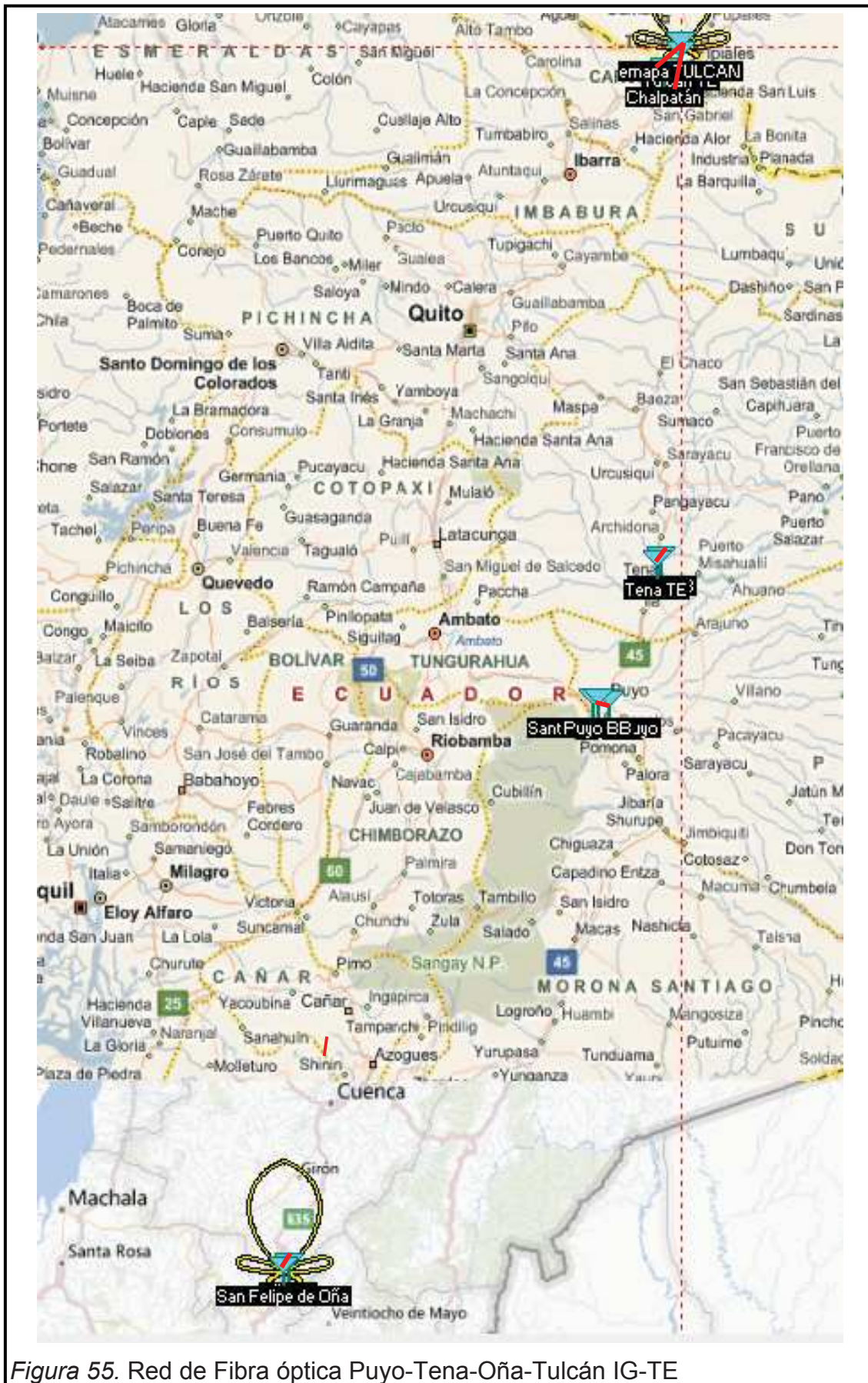


Figura 55. Red de Fibra óptica Puyo-Tena-Oña-Tulcán IG-TE

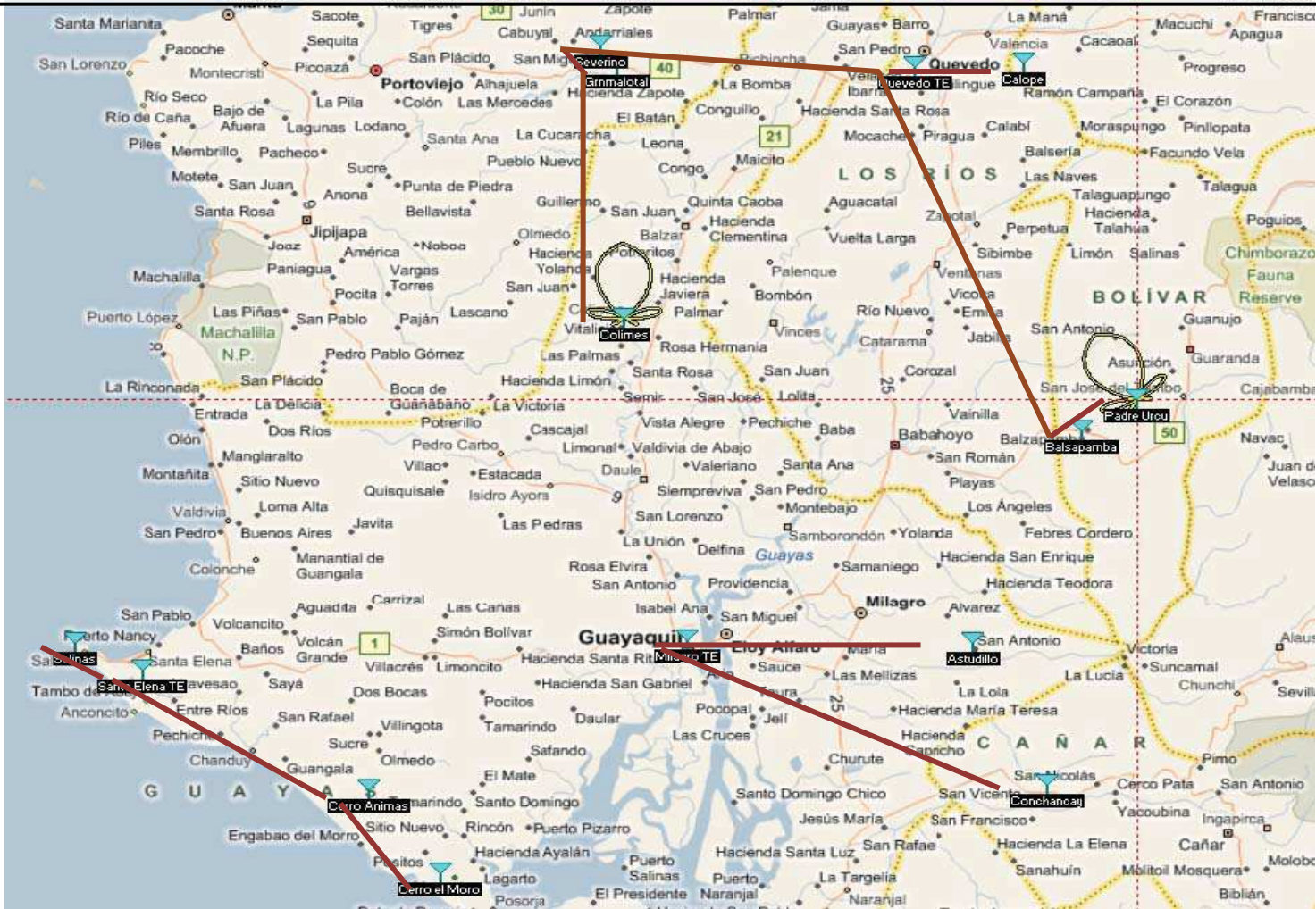


Figura 56. Red de Fibra óptica Sta. Elena- Milagro- Quevedo IG-TE

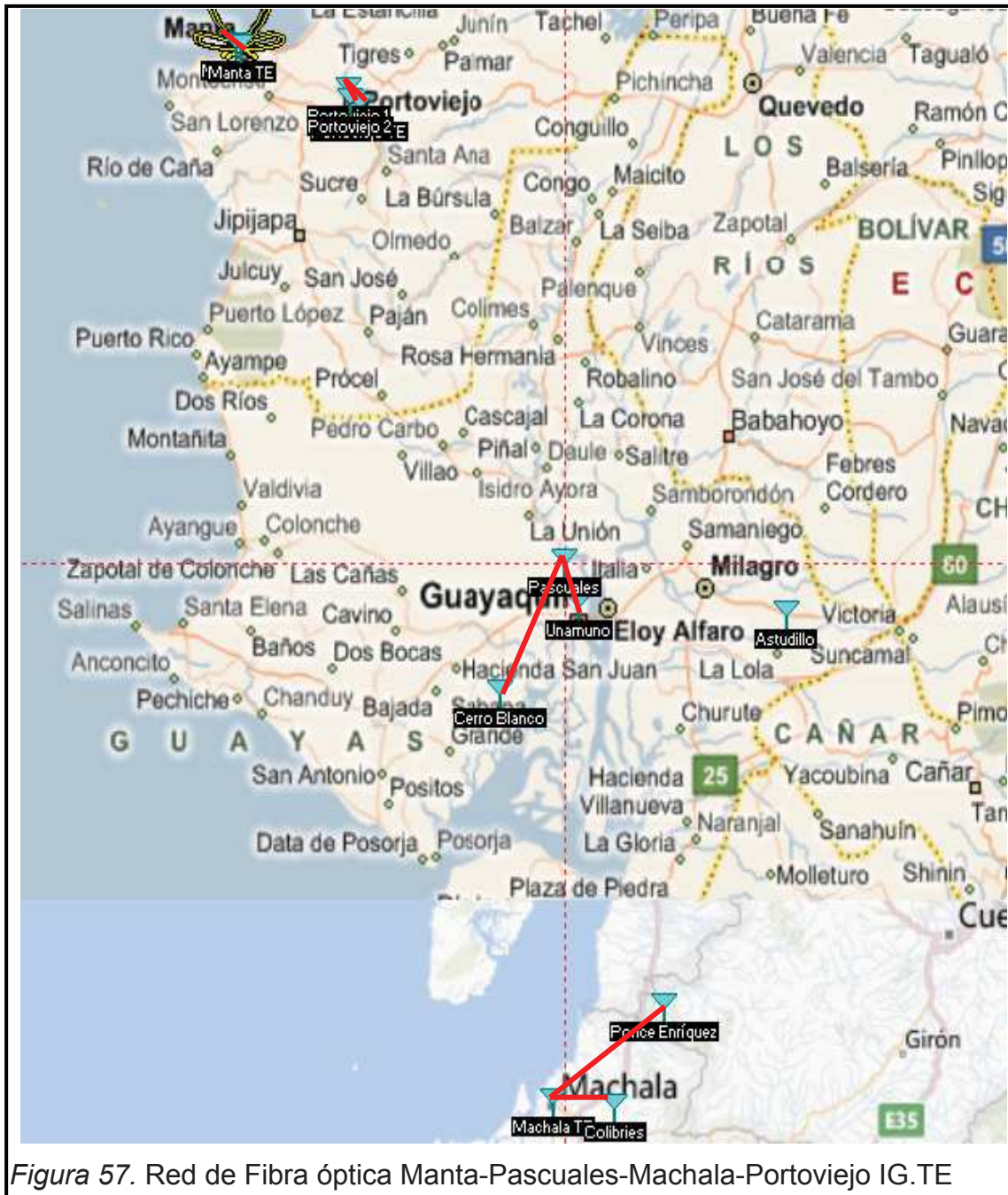


Figura 57. Red de Fibra óptica Manta-Pascuales-Machala-Portoviejo IG.TE

Las figuras 58 y 59 ilustran cómo se encuentran instalados los equipos de transmisión y monitoreo del Instituto Geofísico en los nodos propiedad de Transelectric EP.



Figura 58. Estación Acelerógrafo IG Nodo Tulcán TE.



Figura 59. Conexión equipos IG-TE .Nodo Loja

2.1.2.1 Inconvenientes presentados en la Red LAN

Al ser una red que opera sobre los enlaces de fibra óptica de Transelectric EP, depende casi en su totalidad del buen funcionamiento de la misma. En algunas ocasiones se han presentado fallas en los enlaces entre subestaciones generando pérdida de datos.

En otras ocasiones los radioenlaces propios del IG han sufrido averías por diversas razones:

- Problemas de alimentación
- Malas condiciones climáticas
- Vandalismo en estaciones y/o repetidoras
- Presencia de interferencias de frecuencias cercanas
- Pérdida de línea de vista parcial o total entre estación y repetidora.
- Desorden del cableado interno, el mismo que lleva los datos desde los radios receptores instalados en la terraza del IG hacia servidores instalados en las oficinas.

En las figuras 60 y 61 se ilustra la desorganización presentada entre los racks y el router principal, al cual se conectan las redes WAN digitales.



Figura 60. Conexión hacia el router IG



Figura 61. Rack de conexiones para Redes Microonda y fibra TE.

2.2 Soluciones para la red de monitoreo del IG

Debido a que la red del Instituto creció de manera desorganizada implementando enlaces sin una correcta planificación, generando muchas veces la caída de los mismos, se solicitó el diseño de una red que permanezca operativa la mayor parte del tiempo; en la cual se incluyan sitios que no se han podido monitorizar debido a su ubicación geográfica y/o difícil acceso hacia los mismos.

Al mismo tiempo se planificó incluir varios servicios en cada uno de los nodos que forman parte de la red mencionada, es decir, la misma debe ser capaz de manejar un alto tráfico de datos.

De ésta manera se obtendrá un servicio completo, optimizando ancho de banda. Se planifica que algunos nodos concentren las señales de ciertas

estaciones con transmisión digital que se encuentran funcionando en la actualidad permitiendo descongestionar la red, de esta manera se suprimirían algunos enlaces que ya no sean necesarios, eliminando conexiones internas en el Instituto, organizando el cableado y permitiendo la identificación de cables, conexiones y servicios con mayor rapidez.

2.3 Requerimientos para el diseño de la red

Con el fin de establecer los requerimientos de diseño para la nueva red se realizaron algunas preguntas al personal de administración de sistemas del Instituto y a los jefes de las áreas de Instrumentación y Sismología.

- 1) ¿Es indispensable la implementación de un sistema VSAT para adquirir datos sísmicos en tiempo real?

Si, es necesaria la implementación de una red que permita la transmisión de datos en tiempo real de estaciones ubicadas en sitios de difícil acceso a otro medio de transmisión debido a su ubicación.

- 2) ¿Se cuenta con el capital necesario para invertir en una red satelital para el Instituto Geofísico Nacional?

El Estado Ecuatoriano aportó con dinero para la implementación de nuevos equipos de monitoreo, así como también de nuevos sistemas de transmisión para la mejora del Sistema Nacional de Monitoreo Sísmico y Volcánico en el Ecuador.

- 3) ¿Qué servicio proveerá la red satelital?

Ayudará a la obtención de datos sísmicos y volcánicos en tiempo real.

- 4) ¿De cuantos nodos constaría la red?

Se determinaron la posibilidad de implementar 16 nodos en los lugares que todavía el Instituto no ha podido determinar el tipo de actividad sísmica y

volcánica. Estos sitios fueron determinados por el personal de las áreas de Instrumentación y Sismología del IG.

5) ¿Dónde se encontrará el administrador de la red?

El administrador de la red debe ser parte del departamento de Sistemas del Instituto Geofísico Nacional, controlar el tráfico y adquisición de los datos.

2.4 Medición de tráfico

Para realizar la medición de tráfico se requiere en primer lugar, determinar los equipos que deberán ser implementados para el sistema de monitoreo sísmico y volcánico propuesto.

La selección del equipamiento se la realizó tomando en cuenta un parámetro específico: la calidad que debe tener el monitoreo en base a la necesidad geológica para cada uno de los sitios que conforman la red.

De esta manera se determinó lo siguiente:

Los componentes para una estación Multiparamétrica son los enlistados en la tabla 18.

Tabla 18. Componentes para monitoreo en una estación Multiparamétrica

TIPO DE ESTACIÓN	DIGITALIZADOR		SENSOR SÍSMICO	
	Marca	Modelo	Marca	Modelo
Multiparamétrica	Kinometrics	Q330HRS	Nanometrics	Compact
	ACELERÓGRAFO		SISTEMA DE GPS	
	Marca	Modelo	Marca	Modelo
	Guralp	CMG-5TD	Trimble	NETRS
	DETECTOR DE CO2			
	Marca	Modelo		
	NOVAC	Ninguno		

Los componentes para una estación Banda Ancha con acelerógrafo son los enlistados en la tabla 19.

Tabla 19. Componentes de monitoreo para una estación Banda Ancha

TIPO DE ESTACIÓN	DIGITALIZADOR		SENSOR SÍSMICO	
	Marca	Modelo	Marca	Modelo
Banda Ancha y Acelerógrafo	Kinematics	Q330HRS	Nanometrics	Compact
	ACELERÓGRAFO			
	Marca	Modelo		
	Guralp	CMG-5TD		

Los componentes para una estación banda ancha con sensor de infrasonido son los enlistados en la tabla 20.

Tabla 20. Componentes de monitoreo para una estación Banda Ancha con sensor de infrasonido.

TIPO DE ESTACIÓN	DIGITALIZADOR		SENSOR SÍSMICO	
	Marca	Modelo	Marca	Modelo
Banda Ancha e Infrasonido	Kinematics	Q330HRS	Nanometrics	Compact
	INFRASONIDO			
	Marca	Modelo		
	Chaparral	Ninguno		

En algunos casos, se llevarán los datos de estaciones que actualmente se encuentran instaladas y sin transmisión hacia algunos de los nodos de la red VSAT propuesta. Si esto ocurre, los enlaces serán realizados mediante radios digitales Free Wave utilizando el espectro de frecuencias entre los 900 MHz hasta los 928 MHz.

A continuación se detallan las principales características para un radio Free Wave digital, modelo FGR2-PE.

- Marca: Free Wave
- Modelo: FGR2-PE
- Ancho de Banda: 230,4 KHz.
- Throughputs:
 - 80 Kbps velocidad estándar
 - 154 Kbps alta velocidad

- Modulación: GFSK
- Potencia de salida: desde 5 mVatios hasta 1 Vatio

Una vez determinado el equipamiento que se utilizará en la topología, se realizan las mediciones de tráfico necesarias para el dimensionamiento y correcto diseño de la red propuesta.

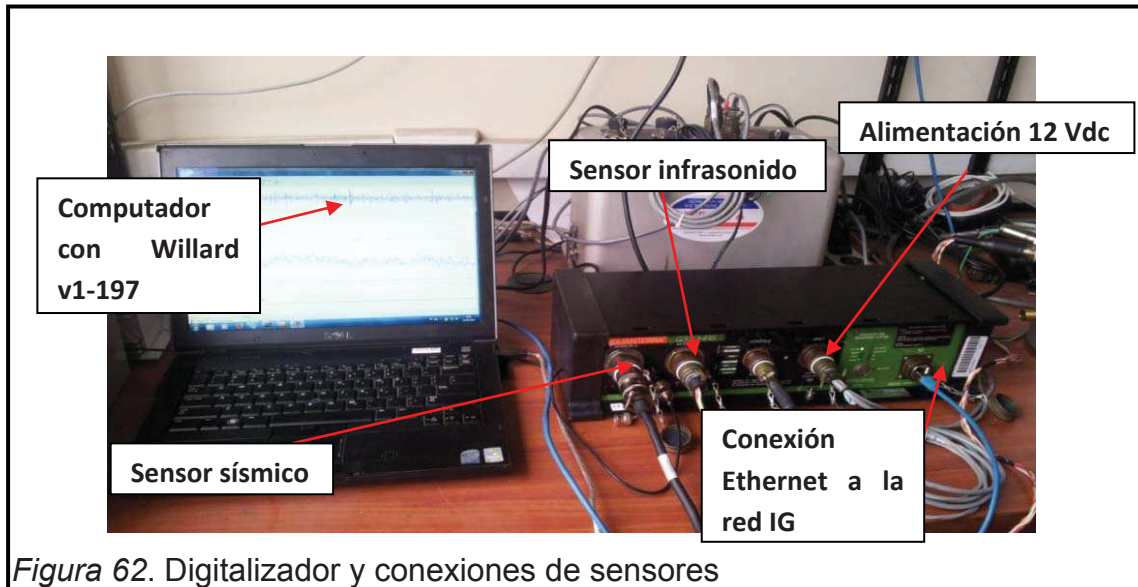
2.4.1 Simulación para la transmisión

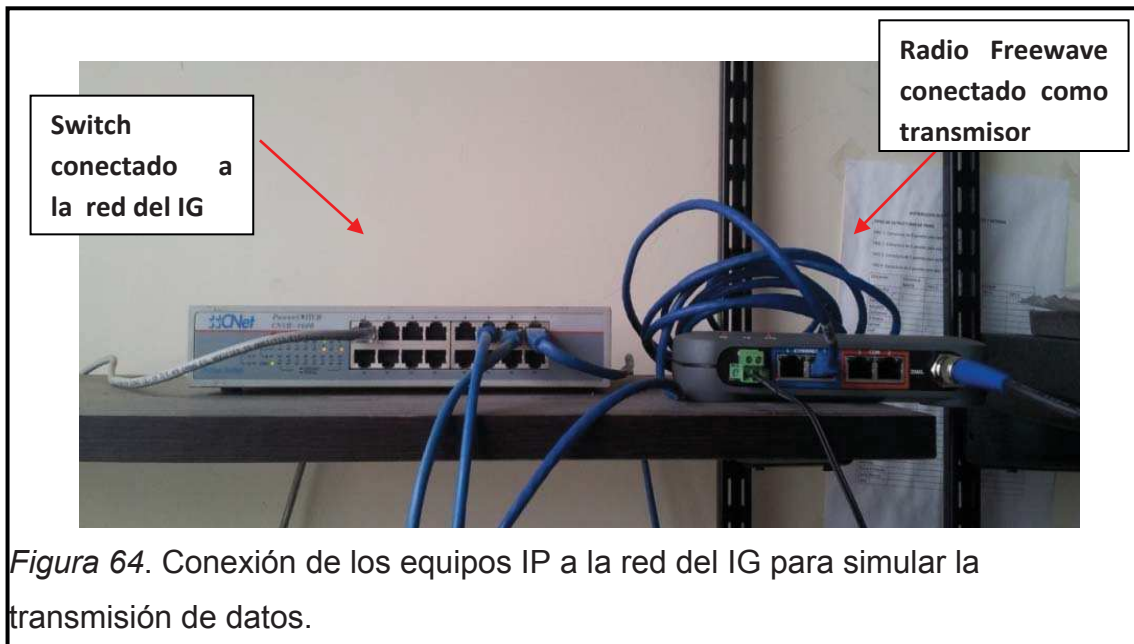
En primer lugar, se acondicionó la red del IG para la conexión de los equipos de monitoreo.

Tanto el digitalizador, los radios y acelerógrafos son equipos que manejan protocolo TCP, es decir es posible asignarles direcciones IP para que estos puedan acceder a cualquier tipo de red.

Para el caso del sensor sísmico, al ser un equipo analógico, fue conectado directamente a uno de los terminales del digitalizador, de igual manera el sensor de infrasonido y el acelerógrafo.

Las figuras 62, 63 y 64 ilustran las conexiones hacia el digitalizador y la red del IG.





El digitalizador Quanterra Q330 modelo HRS de la casa Kinemetrics tiene la capacidad de adquirir y enviar información de 6 canales sísmicos, el IG compró la licencia para administrar el software original del equipo (Willard v1-197), que permite la configuración total del digitalizador, por ejemplo, de los canales correspondientes a los sensores, el direccionamiento IP, la calibración para las masas del sensor, el control del status de GPS y el tipo de transmisión a implementar; en este caso VSAT.

En algunas ocasiones, se utilizará el modelo de digitalizador Quanterra Q330S con capacidad para 3 canales sísmicos, esto se debe a que únicamente se utilizará un sensor sísmico o un acelerógrafo, dependiendo de la necesidad geológica.

En la figura 65, mediante una captura de pantalla, se observa la configuración para el medio de transmisión que se utilizará para el digitalizador.

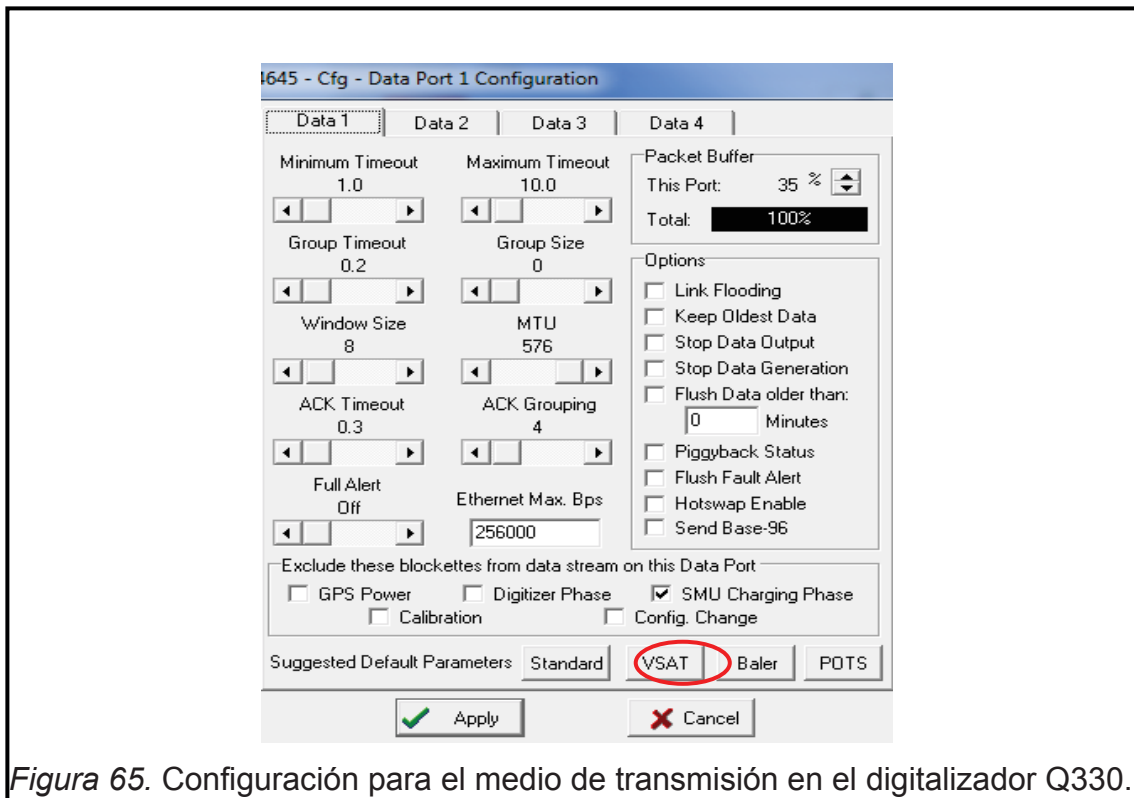


Figura 65. Configuración para el medio de transmisión en el digitalizador Q330.

Nota:

Para el caso de ésta prueba se escogió la opción *Standard*, debido a que la transmisión fue realizada mediante radios digitales. Para el caso de la red propuesta se deberá escoger la opción VSAT.

2.4.2 Para simular la recepción

Se simuló la recepción conectando otro radio FreeWave con direccionamiento IP dentro red del IG pero sin haber establecido una conexión directa al switch, es decir el enlace fue inalámbrico hacia la estación transmisora; otro computador estuvo conectado al radio receptor.

En el computador receptor fueron instalados los programas de adquisición tanto para el digitalizador como para el acelerógrafo que se conectaron en la parte transmisora. En la figura 66 se puede observar las conexiones realizadas en el lado del receptor.

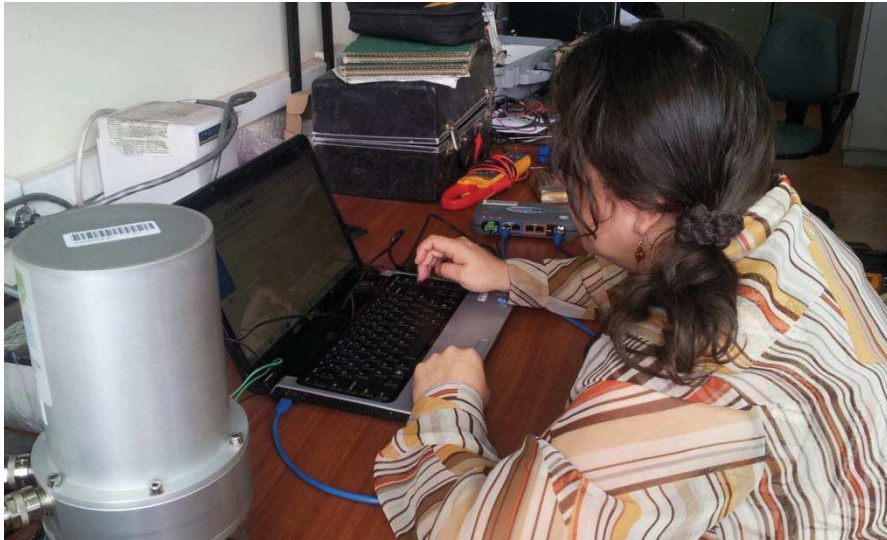


Figura 66. Equipo receptor instalado en el laboratorio

Con el propósito de monitorizar el ancho de banda ocupado por el equipo, se instaló el programa Ixia QCkeck tanto en la computadora transmisora como en la recepción. Este programa permite monitorizar el *throughput* del sistema y compararlo con el *throughput* del medio de transmisión en tiempo real durante el envío de datos.

Para una estación con digitalizador donde se conectaron:

- Acelerógrafo
- Sensor sísmico
- Microbarómetro

y con transmisión en tiempo real sin pérdidas de datos, al generar actividad en los sensores se obtuvo los resultados ilustrados en las figuras 67 donde se puede observar la cantidad de tráfico producida y el *throughput* del medio de transmisión.

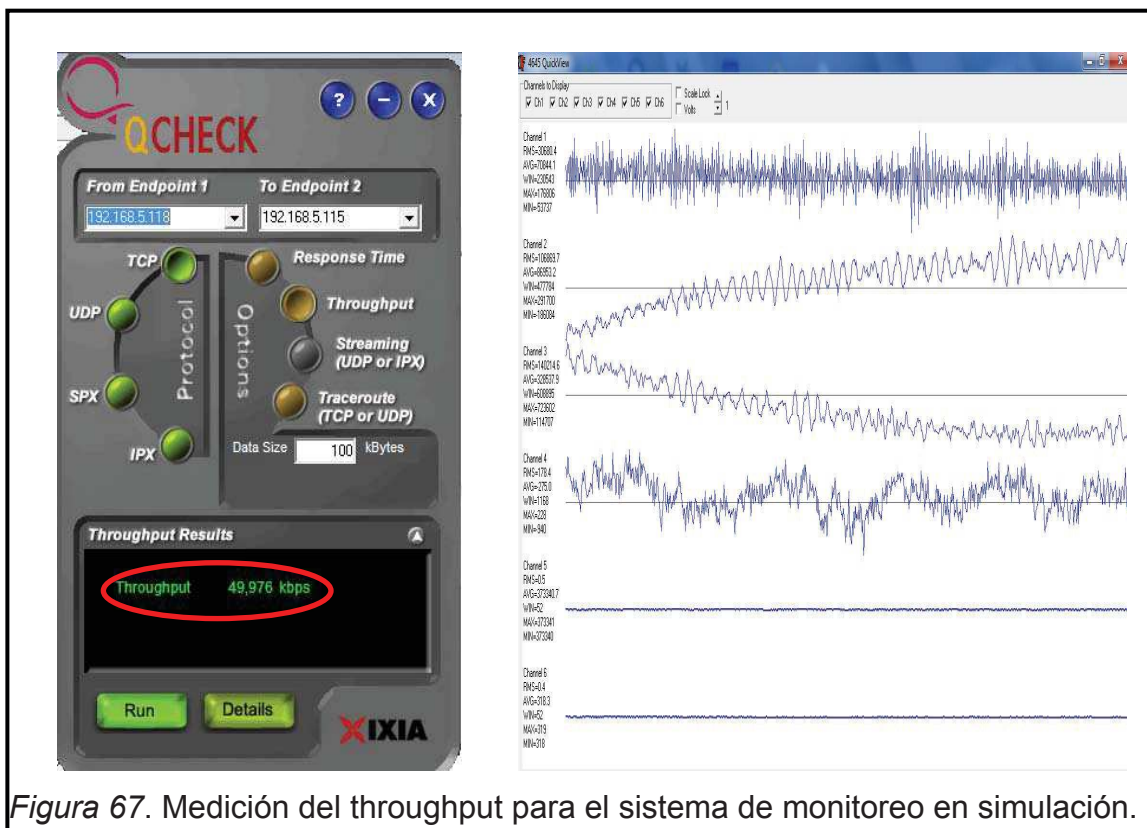


Figura 67. Medición del throughput para el sistema de monitoreo en simulación.

El throughput total establecido para el radio es 154 Kbps, el disponible fue de 49,976 Kbps, entonces, el tráfico generado por el equipo fue 104,024 Kbps, para una estación que permaneció transmitiendo sin pérdida de paquetes.

Cuando un equipo permanece prendido pero perdió su conexión a la red del IG, se encuentra adquiriendo y grabando datos sin enviarlos a Quito, es decir, almacena información y al momento de restablecer el enlace, todos esos datos almacenados empiezan a llenar el canal de transmisión, generando en esos casos el aumento de ancho de banda ocupado y en ocasiones pérdida de la comunicación.

Al momento en que se haya terminado el envío de los datos almacenados, el enlace se restablece y permanece normal. Todo depende también del medio de transmisión utilizado en ese momento.

En la figura 68 se ilustra la medición de throughput realizada cuando se perdió la conexión de uno de los equipos, en este caso del acelerógrafo Guralp.



Figura 68. Medición del throughput del equipo después de conectar un acelerógrafo que perdió conectividad con la red por algunos minutos.

Como se demuestra, el throughput disponible (27,976 Kbps) fue menor cuando los datos almacenados empezaron a ser transmitidos. Se observó la presencia de 280 bloques de datos en cola, esto generó alto tráfico en la red y en ocasiones determinó su colapso.

Para este caso el tráfico fue 126,024 Kbps.

La siguiente prueba consistió en conectar un modem de GPS a la red de monitoreo. El módem tenía datos almacenados, los que empezaron a ser transferidos una vez que se ordenó al módem hacerlo.

El equipamiento GPS que se utilizó es de marca Trimble, modelo NETRS. Sus características principales son:

- Manejo de doble frecuencia de transmisión hacia el satélite GPS:
 - 1,2 GHz
 - 1,5 GHz
- Manejo del protocolos RTCM17 y TCP
- Adquisición de datos:
 - Dinámico
 - Estático
- Velocidad de muestreo= 200 ms
- Capacidad de almacenamiento= 950 Mb
- Consumo= 4 vatios

Las demás características del equipo se incluyen en el Anexo 1.

A continuación en la figura 69 se ilustra la conexión del módem GPS en la red de prueba previamente establecida.



2.4.3 Simulación para la transmisión con GPS

El módem GPS es un equipo digital, por lo tanto es posible asignarle una dirección IP dentro de la red de prueba.

La conexión fue directa al switch, donde los demás dispositivos fueron conectados. En el lado de la transmisión se instaló un computador con el software para el monitoreo del throughput.

La medición de tráfico se la realizó después de un día de haber estado grabando datos en el digitalizador, GPS y acelerógrafo.

Los programas de adquisición tanto para los datos del digitalizador como para los del acelerógrafo se encontraron activos en el lado del receptor, es decir, mientras el computador receptor adquiría los paquetes de datos, más alto era el tráfico y menos ancho de banda estaba disponible.

La primera prueba se la realizó al conectar el GPS a la red y descargando un archivo de 9 Mb aproximadamente, tal como lo muestra la figura 70.



Figura 70. Medición del throughput al conectar un módem GPS a la red de prueba

El throughput bajó hasta 22,598 Kbps cuando se empezó a adquirir datos, es decir la eficiencia del canal fue de 22,59% y el tráfico generado por la transmisión 131,41 Kbps.

Ahora bien, si se desean descargar más archivos desde el módem GPS, el ancho de banda ocupado aumentará y el throughput disminuirá, es decir la eficiencia del canal bajará, tal cual lo ilustra la figura 71.



Figura 71. Medición del throughput al conectar un módem GPS descargando dos datos de 9 Mb cada uno.

El throughput disminuyó notablemente hasta 8,267 Kbps y tráfico en transmisión aumentó a 145 Kbps.

Para el peor de los casos, en donde se descargaron cuatro archivos grandes de 9 Mb, manteniendo la adquisición de digitalizador, acelerógrafo y del mismo GPS los resultados fueron los demostrados en la figura 72.

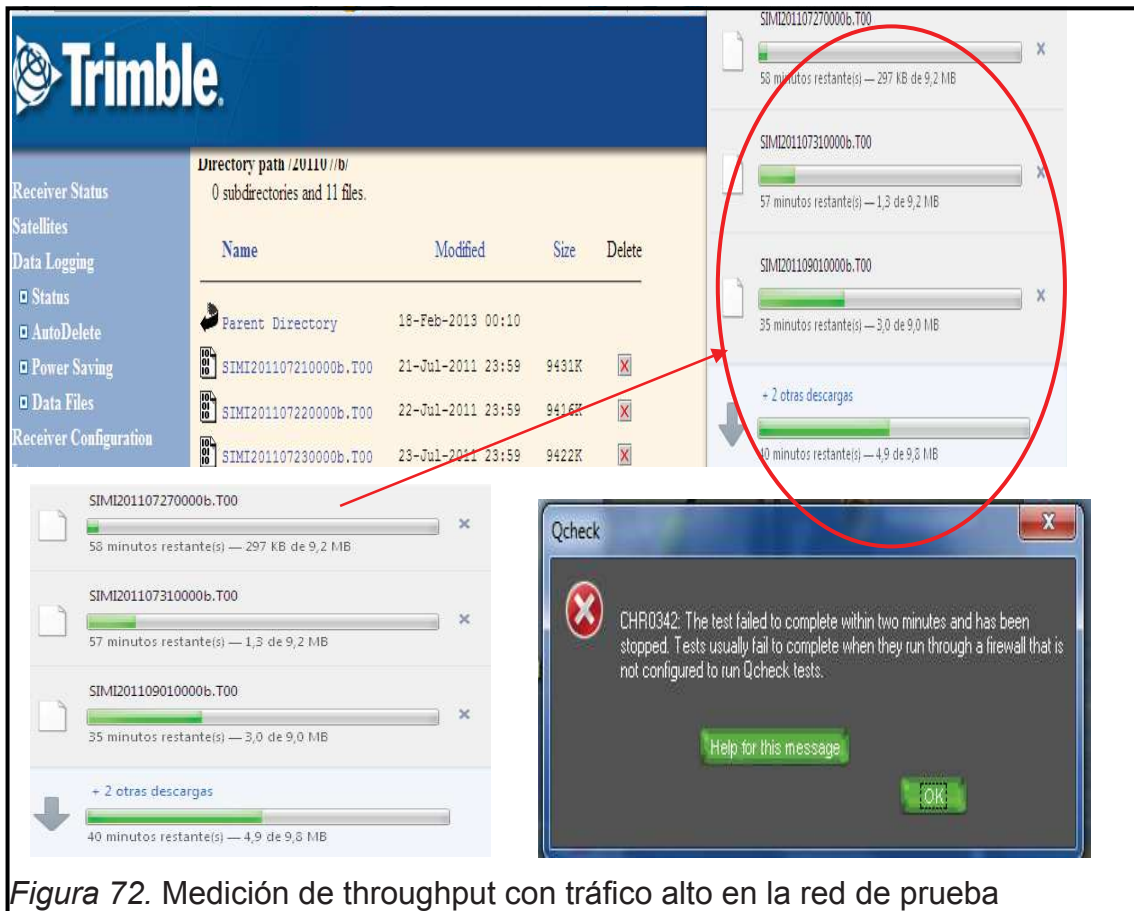


Figura 72. Medición de throughput con tráfico alto en la red de prueba

Al momento de aumentar la cantidad de descargas en la red se provocó la saturación del ancho de banda del medio de transmisión. Por este motivo, en ocasiones los enlaces del IG caen y ocasionan pérdida de información.

Para el monitoreo volcánico, existe la posibilidad de implementar cámaras IP con la finalidad de permitir la visualización del volcán, sus explosiones, emisiones de ceniza, etc. El instrumento utilizado por el IG es la cámara IP StarDot, que permite al personal del Instituto observar las cumbres volcánicas del Ecuador.

En la actualidad existen dos cámaras en funcionamiento; una instalada en el volcán Cotopaxi y la otra instalada en el volcán Tungurahua.

Se realizaron las pruebas para determinar el throughput que consume la cámara IP sola y también en conjunto con los otros equipos anteriormente analizados.

2.4.4 Simulación para la transmisión de la cámara IP

Se conectó la cámara IP StarDot a la red de prueba tal como se ilustra en la figura 73.

Una vez que se instaló la cámara, se pudo ingresar a su menú de configuración para escoger la resolución que se deseaba obtener y la calidad de imagen, mientras mayor sea la resolución, mayor será el ancho de banda necesario para transmitir las imágenes.



Figura 73. Cámara IP conectada al equipo de prueba

A la cámara se la configuró de tal manera que se obtenga la mejor resolución posible, esto se puede lograr accediendo por un buscador web mediante la dirección IP del equipo.

Inmediatamente en la pantalla se desplegó un menú donde se pueden aplicar parámetros de configuración, tales como resolución, contraste, calidad de la imagen, etc. En la figura 74 se ilustra el procedimiento para configurar la cámara IP.



Figura 74. Configuración de la cámara IP antes de conectar a la red de prueba.

Después de haber configurado la cámara, se procedió a conectarla a la red. Se hicieron dos pruebas; la primera fue realizada midiendo únicamente el tráfico generado por la cámara; en la segunda se conectó la cámara junto a los demás equipos anteriormente analizados.

En el lado del receptor se ejecutaron los programas para la adquisición del acelerógrafo y digitalizador, es decir, se simuló un servidor para adquisición de datos. Además, se empezó a descargar un archivo de aproximadamente 9 Mb desde el módem de GPS.

Los resultados obtenidos para esta prueba se ilustran a continuación en la figura 75.



Figura 75. Medición del throughput. A la izquierda, resultado al conectar la cámara IP sola. A la derecha, resultado al conectar la cámara IP con todos los equipos.

A continuación en la tabla 21 se realiza un resumen del ancho de banda correspondiente para los diferentes equipos de monitorización.

Tabla 21. Resumen del tráfico generado por los equipos de monitorización

Equipo	Tráfico (Kbps)	Throughput (Kbps)
Digitalizador + sensor sísmico	60,89	93,11
Digitalizador + sensor + microbarómetro	63,88	90,12
Digitalizador + sensor + microbarómetro+ acelerógrafo	126,024	27,976

Digitalizador + sensor + microbarómetro+ acelerógrafo+ GPS	145,7	8,267
Digitalizador + sensor + microbarómetro+ acelerógrafo+ GPS+ Cámara IP	145,4	8,631

Throughput (Velocidad de transferencia de datos): Cantidad de información que se transmite por unidad de tiempo (Desongles, 2005, p.271).

Velocidad de transmisión (Tráfico): Número máximo de bits por segundo que se pueden transmitir por una línea. Se mide en bits por segundo (Desongles, 2005, p.271).

De estas mediciones se concluye lo siguiente:

- La velocidad de transferencia de datos incrementa cuando se conectan más equipos a la red.
- La velocidad de transmisión es inversamente proporcional al throughput en el enlace.

Los resultados obtenidos en este capítulo serán utilizados para calcular el cómputo del enlace.

Las hojas de datos de los equipos que serán utilizados para la monitorización sísmica y volcánica de ésta red se incluyen en el Anexo 1.

CAPÍTULO III

3. Diseño de la red

Después de haber analizado el estado actual de la red de monitoreo del Instituto Geofísico Nacional, su problemática actual y sus requerimientos; se procede a realizar el diseño de la red VSAT en cuestión.

3.1 Descripción de la red VSAT

La red VSAT a diseñar consta de 18 estaciones de monitoreo tanto sísmico como volcánico, algunas de ellas también serán nodos de concentración para otras estaciones que en la actualidad no poseen transmisión.

El objetivo principal es llevar los datos de cada una de las estaciones que forman parte de la red hacia el IG ubicado en la ciudad de Quito, la recepción es en tiempo real, los únicos retardos presentados son los propios que posee una red VSAT en los enlaces de subida (*uplink*) y bajada (*downlink*).

3.2 Ubicación geográfica de las estaciones VSAT

Los sitios fueron escogidos por miembros de las áreas de Sismología e Instrumentación, se tomaron en cuenta los siguientes parámetros:

- Necesidades geológicas (actividad sísmica y volcánica)
- Necesidad de concentrar señales de otras estaciones sin transmisión actual
- Necesidad de monitorización de zonas con poca o nula cobertura

Después de haber discutido y analizados diferentes alternativas se determinaron los siguientes sitios:

- Salinas
- Puerto López
- Ana Tenorio (Pisayambo)
- San Juan Bosco
- Zumba
- Macará
- Taisha
- Lumbaqui
- Santa Rosa (Galápagos)
- Río Verde
- Punta Galera
- Cabo Pasado
- Isla Puná
- Sangay
- Macas
- Lita
- Observatorio Volcán Tungurahua
- Instituto Geofísico (Quito)

En la tabla 22 se detallan las coordenadas e instrumentación requerida en cada uno de los sitios que forman parte de la red propuesta.

Tabla 22. Estaciones de la red VSAT- Instituto Geofísico

ESTACIÓN	UBICACIÓN		INSTRUMENTACIÓN
	Latitud	Longitud	
Salinas	2°11'10,37" S	80°59'27" W	Repetidor/Sísmica
Puerto López	1°27'51,33" S	80°43'50,15" W	Sísmica
Ana Tenorio	1°13'33,9" S	77°56'56,9" W	Sísmica/Acelerógrafo
San Juan Bosco	3°03'22,39" S	78°21'18,32" W	Sísmica
Zumba	4°51'29" S	79°08'23" W	Sísmica
Macará	4°22'10,8" S	79°57'16,5" W	Sísmica/Acelerógrafo
Taisha	2°23'19,41" S	77°29'48,21" W	Sísmica
Lumbaqui	0°1'47,7" N	77°19'7,9" W	Repetidor/Concentrador
Santa Rosa	0°38'13,49" S	90°25'49,09" W	Repetidor/Concentrador
Rio Verde	1°04'3,4" N	79°23'6,3" W	Estación multiparamétrica
Punta Galera	0°46'53,5" N	80°01'49,3" W	Estación multiparamétrica
Lita	0°52'49,77" N	78°27'57,98" W	Sísmica/infrasonido
Cabo Pasado	0°23'11,3" S	80°25'28,9" W	Estación multiparamétrica
Isla Puná	2°47'56,9" S	80°13'51,62" W	Sísmica/GPS
Macas	2°15'17,3" S	78°11'54,6" W	Sísmica
Sangay	1°59'45,46" S	78°22'3,69" W	Sísmica/Infrasonido
OVT	1°21'29,1" S	78°29'45,3" W	Respaldo
Instituto Geofísico	0°12'55,1" S	78°29'36,5" W	Recepción

A continuación mediante el mapa de la figura 76 se muestra la distribución de la red VSAT en el continente.



Figura 76. Red VSAT- IG Ecuador Continental

En algunos de los casos un sitio se convierte en un nodo concentrador y/o repetidor. Es decir, no todas las estaciones manejan el mismo tráfico de datos, éste depende del tipo de equipamiento instalado.

Por ejemplo la estación Punta Galera es multiparamétrica, completa, maneja un tráfico de datos elevado, debido a que los científicos determinaron que la zona tiene alta actividad sísmica se necesita que la instrumentación sea más compleja. En Lumbaqui, se instalará un nodo concentrador, es decir a la misma llegan las señales emitidas por tres estaciones cercanas al Volcán Reventador que en la actualidad no poseen transmisión.

A continuación en la figura 77 se ilustra el esquema propuesto para las conexiones hacia Lumbaqui.

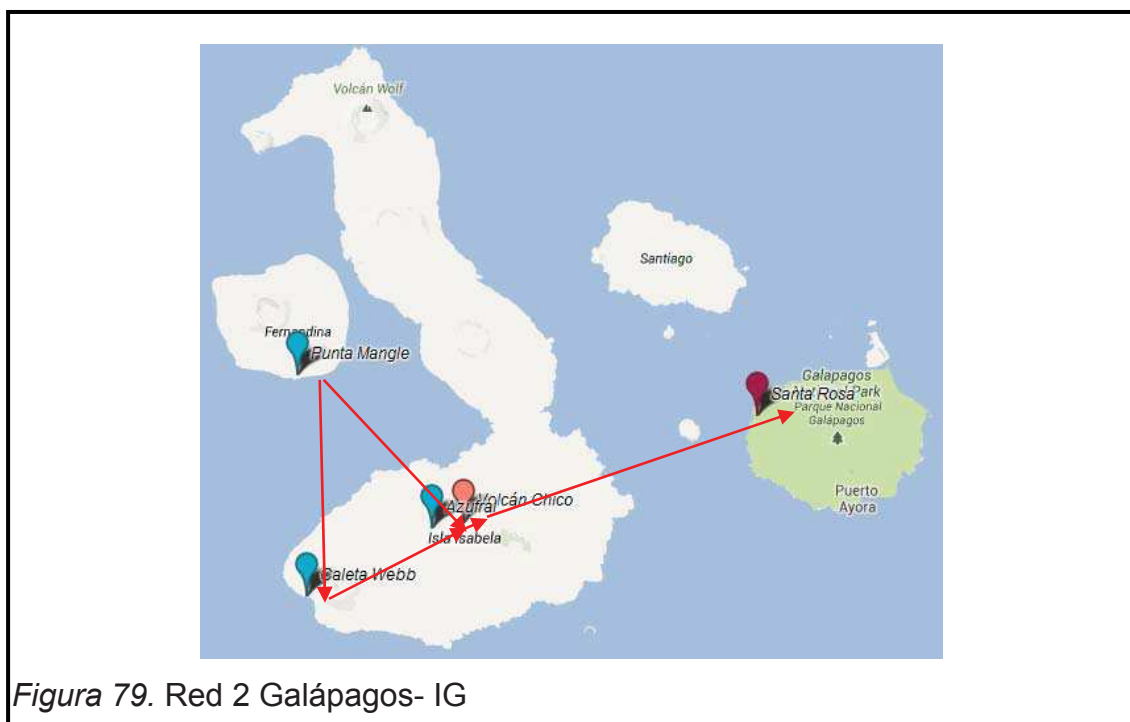


Figura 77. Diseño de la red VSAT- IG para el nodo Lumbaque

Para las Islas Galápagos se pensó en una sola estación satelital ubicada en Santa Cruz, en la zona de la Reserva del Chato- Santa Rosa. Esta estación recibirá las señales provenientes de las estaciones sísmicas ubicadas en las islas Fernandina e Isabela que transmitirán los datos en frecuencias de 900 MHz hacia las repetidoras y desde las repetidoras en 900 MHz hacia Santa Rosa.

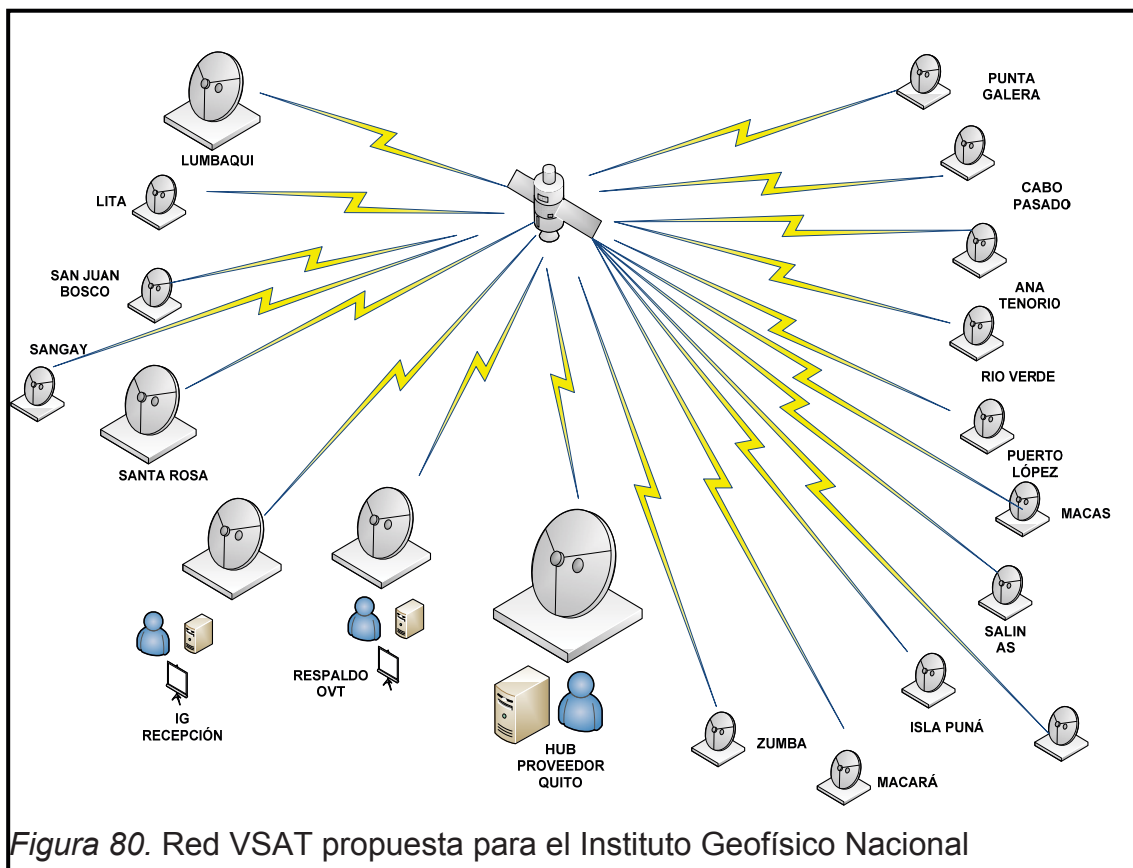
El diseño de la red sísmica fue realizado por parte del personal de sismología e instrumentación del IG.

En las figuras 78 y 79 se detalla el diseño de la red VSAT para las Galápagos.



Nota: Los sitios marcados con color vino son nodos y/o estaciones satelitales, los sitios de color rosa son repetidoras que funcionan a frecuencia de 900 MHz, los sitios en azul son estaciones sísmicas que funcionan en 900 MHz.

En la figura 80 se ilustra la topología de la red VSAT que será diseñada para este trabajo.



3.3 Selección del satélite a utilizar

Para determinar el satélite que se debe utilizar se tomará en cuenta el haz de cobertura proporcionado por el mismo.

La página web de INTELSAT ha implementado un menú interactivo que facilita el proceso de selección del satélite. Mediante la opción *Coverage Maps* el usuario accede a un espacio en donde se despliegan varias opciones dependiendo de la localización en donde se instalará la red terrena VSAT.

En la figura 81 se puede observar la página web de INTELSAT y sus principales opciones para selección del satélite.

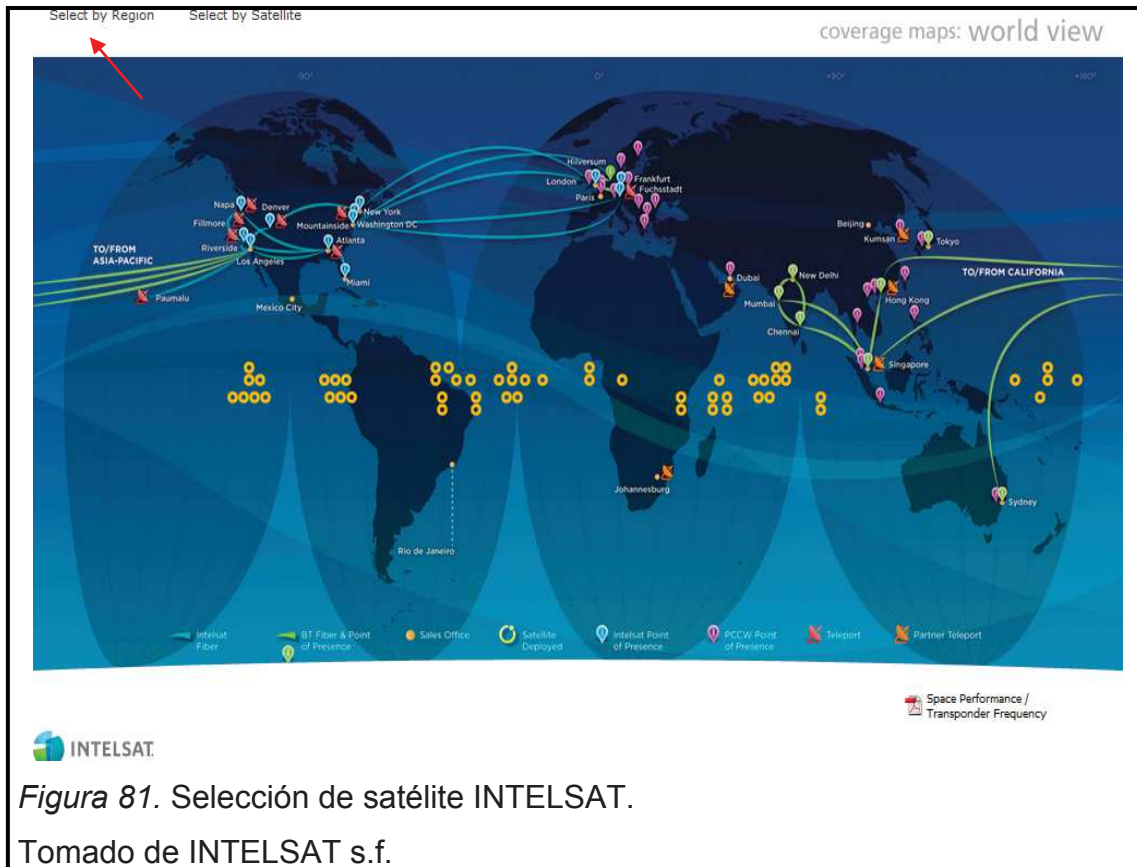
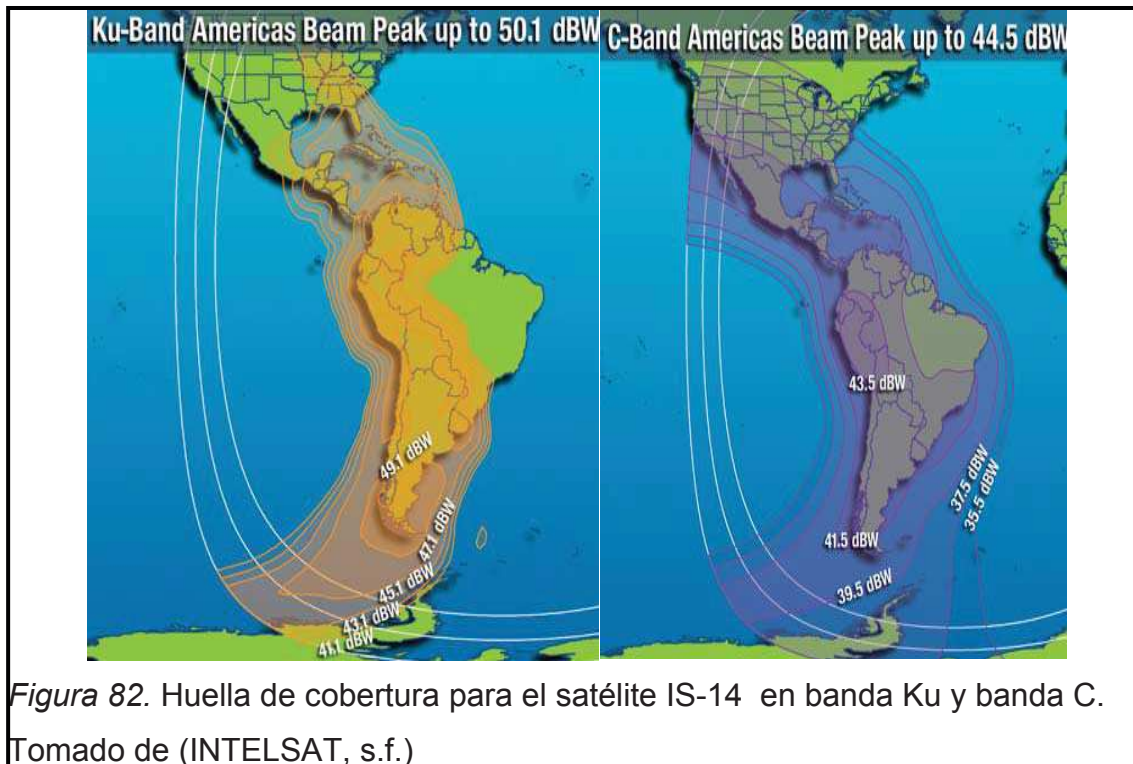


Figura 81. Selección de satélite INTELSAT.

Tomado de INTELSAT s.f.

Una vez seleccionada la región de Sudamérica se procede a realizar la elección del satélite más conveniente, esto dependerá del haz de cobertura, potencia y disposición de transpondedores.

Entre todas las opciones que se desplegaron y tomando en cuenta la cobertura del mismo, se procedió a escoger el satélite IS-14, el mismo que proporciona una huella perfecta para las zonas de Ecuador, Colombia y Perú con cobertura completa y buena potencia (49 dBW). En la figura 82 se muestra las huellas de cobertura del satélite para las bandas C y Ku.



Dentro de la misma página se puede observar detalladamente algunos parámetros importantes acerca del Satélite IS-14.

La tabla 23 detalla las características principales del satélite, que la persona encargada del diseño de la red necesita tomar en cuenta al momento de realizar el cómputo del enlace VSAT.

Tabla 23. Características del satélite INTELSAT IS-14.

Satélite IS-14	Banda C	Banda Ku
Número de transpondedores	32x36 MHz (20 lineales, 12 circulares) 8x72 MHz	20 x 36 MHz 2 x 72 MHz
Polarización	Lineal (H/ V) Circular (R/L)	Lineal (H/ V)
Frecuencia de bajada (GHz)	3,7-4,2	11,45-11,95
Frecuencia de subida (GHz)	5,925-6,425	14,0-14,5
G/T (dB/°K)	Europa/África: >-6,7 América: >-7,1	Europa/África: >-1,6 América: >-3,3
Rango para densidad de frecuencia espectral (dBW/m ²)	-94,00 a -73,00	Europa/África: -95,6 a -74,6 América: -96,0 a -75,0

La hoja técnica, donde se encuentran las demás características y zonas de cobertura del satélite INTELSAT IS-14 es parte del Anexo 2 de este documento.

3.3.1 Calculadora de Sun Outage

Con el fin de determinar el período de tiempo en el año para el cual se tendrá interferencia solar en el enlace VSAT, INTELSAT ha facilitado en su página web un aplicativo que permite al diseñador de la red conocer cuándo dejará de funcionar el servicio para cada uno de los satélites de su flota, dependiendo de la ubicación de las estaciones terrenas y proveedor.

A continuación en las figuras 83 se ilustra cómo INTELSAT ayuda al cálculo de la interferencia solar para un determinado satélite.

Sun Interference Calculator

Use the Sun Interference Calculator below to predict possible Sun Interference for your Earth Station.

Calculate Interference times by

Satellite: Intelsat 14 [315.00 °E]

Analysis Type: Single E/S Input Mode

Country, City & E/S Diameter

Country: Ecuador

City: Quito

E/S Diameter: 1.80

meters feet inches

E/S Latitude, Longitude & Diameter

Frequency Band: C

Sun Interference Prediction for:

Satellite: Intelsat 14 [315.00 °E]
 Season: Fall 2013
 Frequency Band: C
 Country: Ecuador
 City: Quito
 Diameter: 1.80 Meters
 Analysis Type: Single E/S Input Mode

Return Print Download to Excel Download as PDF

Date	Start Time (GMT)	Duration
18-Sep-2013	14:29	6 minutes
19-Sep-2013	14:26	10 minutes
20-Sep-2013	14:25	13 minutes
21-Sep-2013	14:24	14 minutes
22-Sep-2013	14:23	14 minutes
23-Sep-2013	14:23	14 minutes
24-Sep-2013	14:23	13 minutes
25-Sep-2013	14:24	11 minutes
26-Sep-2013	14:25	8 minutes

Figura 83. Cálculo de la interferencia solar para el satélite INTELSAT IS-14. Tomado de (INTELSAT, s.f.)

3.4 Selección de la banda de frecuencias a utilizar

Tal como se revisó en el Capítulo 1 del presente documento y analizando la mejor opción, se decide utilizar la banda C para el diseño de la red.

La banda C posee fortaleza contra las atenuaciones por condiciones atmosféricas y lluvias, tal cual se pudo apreciar en la figura 2 y en las tablas 5 y 8.

Las pérdidas en el espacio libre son menores en banda C, esto fue demostrado en la tabla 4.

Debido a que el Ecuador es un país que posee varias zonas climáticas y que en algunas ocasiones las lluvias se hacen presentes gran parte del año, es indispensable diseñar una red que permanezca funcionando un 99.9 % del tiempo sin alterar su comportamiento por condiciones climáticas extremas.

Para contrarrestar la debilidad que la banda Ku tiene hacia interferencias, es necesaria la transmisión con mayor potencia, es decir los terminales de recepción son más pequeños que los terminales en banda C.

Al transmitir con mayor potencia, el servicio en banda Ku utiliza transpondedores más potentes para la operatividad del satélite, la capacidad de ancho de banda es más costosa, lo que hace que el servicio en banda Ku sea más costoso.

3.5 Selección de la topología a utilizar

De acuerdo a lo analizado en el Capítulo 1, se decide utilizar la topología tipo estrella. La misma establece comunicación directa de cada terminal con un HUB, si el enlace entre un terminal y el HUB cae, no caen los demás enlaces. En topología malla, si un enlace entre un terminal y otro cae, los demás enlaces también caen.

Al tratarse de una red no muy grande, se sugiere la utilización de topología estrella, ideal para enlaces punto-multipunto.

3.6 Selección del método de acceso al satélite

El tipo de red propuesta está destinada para el servicio de monitoreo sísmico y volcánico, es decir, se requiere adquirir los datos con respuesta inmediata.

La técnica escogida para el propósito es TDMA, ya que permite la implementación de un número pequeño de estaciones, además cumple con los requerimientos de respuesta rápida de la red, de igual manera un manejo eficiente de los recursos del satélite cuando se tiene un tráfico no muy elevado de datos.

En esta técnica se permite la configuración de los tamaños de las ranuras de tiempo, dependiendo de la cantidad de tráfico presente en la red. Las ranuras son asignadas a las estaciones en particular, sin existir la posibilidad de colisiones de la información.

Una desventaja de esta técnica es la circuitería ligeramente más compleja en las estaciones remotas debido a que se precisa de un nivel elevado de sincronización, sin embargo, el costo del segmento espacial para esta aplicación no es muy elevado y facilita la inversión más elevada en los equipos para las estaciones terrenas a cambio de seguridad y eficiencia al momento de transmitir los datos.

El esquema para la red VSAT del Instituto se ilustra en la figura 84.

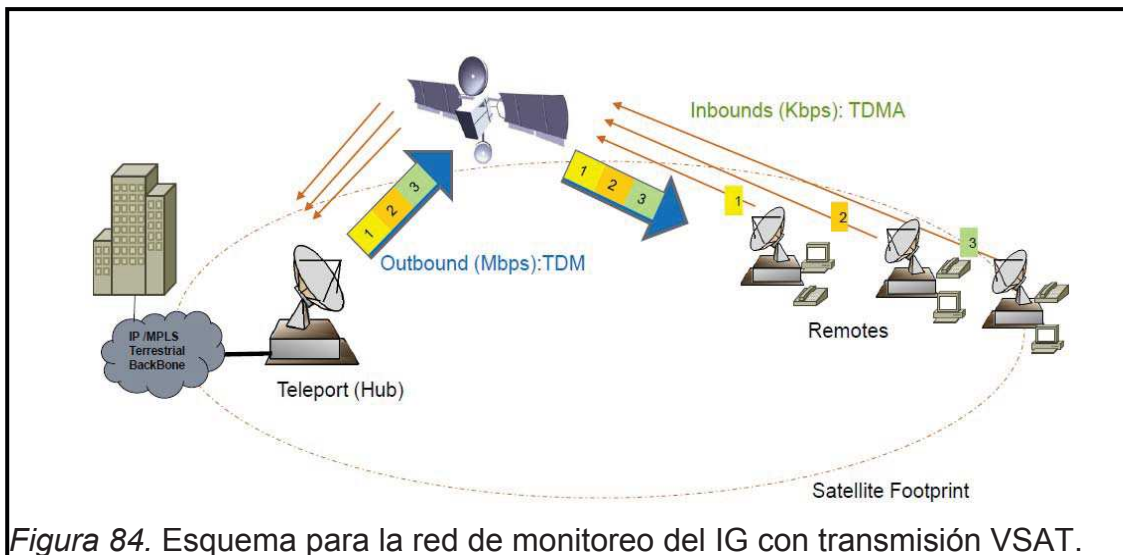


Figura 84. Esquema para la red de monitoreo del IG con transmisión VSAT.

Tal como se describió en el capítulo 1, la técnica TDM/TDMA es una de las más utilizadas en comunicaciones satelitales. En TDM, a cada señal de información (enlace HUB- Satélite) se le permite utilizar todo el ancho de banda disponible, pero únicamente por un intervalo de tiempo. La cantidad de información transmitida es directamente proporcional al ancho de banda y al tiempo.

En la figura 85 se describe la distribución del espectro de frecuencia para la red VSAT propuesta de acuerdo a la técnica TDM/TDMA.

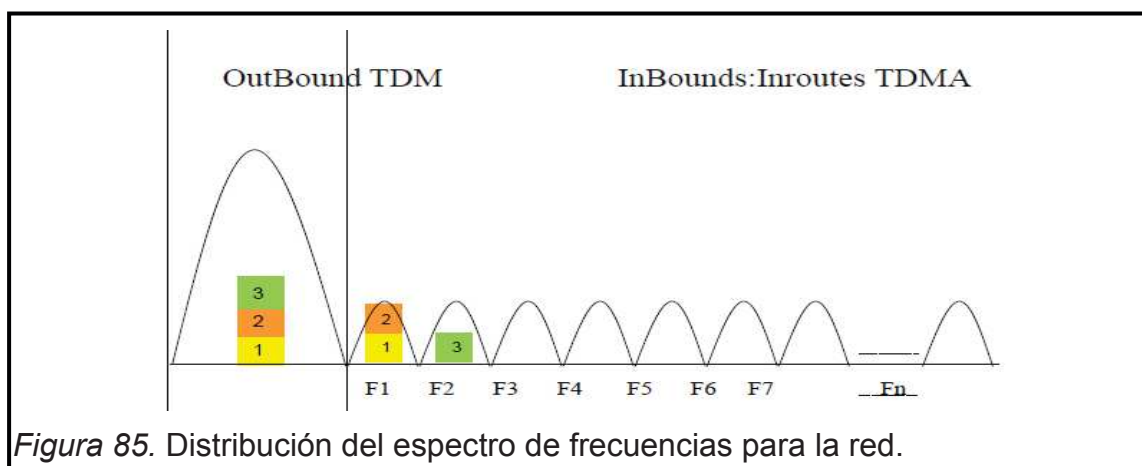


Figura 85. Distribución del espectro de frecuencias para la red.

El outbound es utilizado por el HUB y es realizado a una tasa de transferencia alta, utilizando TDM. Por lo general, se lo hace en forma de broadcast para todas las estaciones remotas.

Los terminales, en cambio utilizan el inbound, éstas comparten en ancho de banda para la transmisión. Una vez que consiguen el medio transmiten con la técnica TDMA, las ranuras para la transmisión pueden estar previamente establecidas o asignadas de forma dinámica.

3.7 Diseño de las estaciones terrenas

El diseño de las estaciones terrenas consta de dos partes principales:

- Diseño del enlace de transmisión ó cómputo del enlace
- Diseño del sistema de transmisión

El cómputo del enlace define los recursos que serán necesarios para que el servicio propuesto cumpla los objetivos del rendimiento.

El diseño del sistema de transmisión se encarga de establecer las características del equipo que se necesita para cumplir los objetivos del rendimiento del servicio que va a cursar; por ejemplo, la potencia nominal del HPA (BUC) y la temperatura de ruido del LNB.

Todas las estaciones terrenas que acceden al segmento espacial ofrecido por INTELSAT necesitan previamente tener la aprobación de la compañía para poder establecer su funcionamiento.

Es responsabilidad del usuario establecer compatibilidad entre todas las estaciones terrenas dentro de su sistema y cumplir los criterios que INTELSAT establece acerca de la interferencia entre las estaciones y el satélite en el que se ocupará la porción de segmento espacial.

Para ayudar a los proveedores en la correcta elección de los elementos de su red VSAT, INTELSAT ha redactado varios documentos que detallan parámetros necesarios que se deberán cumplir para estaciones terrenas y enlaces.

Los estándares para las estaciones terrenas INTELSAT (*The Intelsat Earth Station Standards* IESS) son publicados por INTELSAT para proveer a los usuarios de una fuente de referencia para la implementación de las características requeridas por las estaciones terrenas asociándolas con los equipos que accederán al segmento espacial para el establecimiento de los enlaces en la red.

Según INTELSAT existen ocho estándares para las estaciones terrenas. A continuación en la tabla 24 se detallan los estándares y sus principales características.

Tabla 24. Características para las estaciones terrenas INTELSAT

ESTÁNDAR	RELACIÓN G/T (dB/°K)	BANDA DE FRECUENCIA (GHz)	TIPO DE SERVICIO
A	35	6/4	Internacional
B	31,7	6/4	Internacional
C	37	14/11 ó 14/12	Internacional
E	25	14/11 ó 14/12	IBS
E1	29		IDR
E2	34		ITS
E3	34		VSAT services
F	22,7	6/4	IBS
F1	27		IDR
F2	29		ITS
F3	29		VSAT services
G	Sin especificar	Sin especificar	Internacional
H2	15,1	6/4	DAMA
H3	18,3		VSAT IBS
H4	22,1		ITS VSAT services
K2	19,8	14/11 ó 14/12	ITS
K3	23,3		IBS
K4	23,3		VSAT services

De acuerdo a lo planteado en la tabla 21, y a la elección de la banda de frecuencias a utilizar, es decir banda C (6/4 GHz), se tomarán en cuenta los estándares A, B, F y H para las estaciones terrenas.

3.7.1 Diseño del sistema de transmisión

3.7.1.1 Elección de la antena

La documentación IESS de INTELSAT es muy completa y detalla con claridad los parámetros que se deben tomar en cuenta para determinar si la antena escogida es la correcta.

De esta manera, el documento IESS-207, parte del Anexo 2, describe los parámetros de las antenas en banda C que forman parte de los estándares A, B, H y F para estaciones terrenas INTELSAT.

Utilizando la ecuación 7, detallada en el capítulo 1, para determinar la ganancia de la antena transmisora se tiene lo siguiente:

$$G[\text{dBi}] = 10\log ((\pi * D/\lambda)^2),$$

Donde:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Donde:

f= Frecuencia de subida o bajada

c= velocidad de la luz (3×10^8 m/s)

= 0.66

Entonces la ganancia para la antena de la estación terrena en el enlace de subida a una frecuencia de 6 GHz en banda C será la siguiente:

$$G[\text{dBi}] = 10\log (0.66(\pi * 1.8/0.05)^2)$$

$$G[\text{dBi}] = 39,26 \text{ dBi}$$

De igual manera, para el enlace de bajada se tiene lo siguiente:

$$G[\text{dBi}] = 10\log (0.66(\pi * 1.8/0.075)^2)$$

$$G[\text{dBi}] = 35,74 \text{ dBi}$$

Una vez determinadas las ganancias para los enlaces de subida y bajada e investigando varias posibilidades se escoge la antena marca Prodelin serie 1184 para banda C polarización lineal.

Las principales características de esta antena se explican en la tabla 25.

Tabla 25. Características principales de la antena Prodelin serie 1184.

Características Eléctricas	Banda C/ Polarización lineal
Tamaño	1.8 metros de diámetro
Frecuencia de Operación (GHz):	
Recepción	3,625-4,20
Transmisión	5,85-6,425
Ganancia en Recepción (dBi)	35,5
Ganancia en Transmisión (dBi)	39,50
Temperatura de ruido (°K):	
10° θ de elevación	56
20° θ de elevación	49
30° θ de elevación	47
40° θ de elevación	46
Ganancia del lóbulo lateral de recepción (dBi):	
Lóbulo principal $< \theta < 7^\circ$	
$7^\circ < \theta < 9,2^\circ$	29- 25log θ
$9.2^\circ < \theta < 48^\circ$	8
$9.2^\circ < \theta < 48^\circ$	32- 25log θ
$48^\circ < \theta < 180^\circ$	-10 (promedio)

El documento completo correspondiente a la hoja de datos para la antena Prodelin modelo 1184 en banda C se lo encuentra en el Anexo 1.

De igual manera, en el Anexo 1 se adjunta el certificado de aprobación que otorgó INTELSAT de acuerdo al documento IESS-207 para la antena en cuestión.

En las localidades del IG y OVT se planifica instalar antenas de 2.4 GHz ya que en estos sitios se espera concentrar más tráfico de datos. El OVT será el respaldo en caso de que la recepción en Quito falle por alguna razón.

Para elegir una antena que cumpla con los estándares de INTELSAT, se deben realizar los mismos cálculos que fueron hechos para una antena de 1.8 metros.

De esta manera se tiene lo siguiente:

$$G[\text{dBi}] = 10\log((\pi * D/\lambda)^2),$$

Entonces, la ganancia para la antena de 2.4 metros de diámetro en el enlace de subida a una frecuencia de 6 GHz en banda C será la siguiente:

$$G[\text{dBi}] = 10\log(0.66(\pi * 2,4/0.05)^2)$$

$$G[\text{dBi}] = 41,76 \text{ dBi}$$

Y para el enlace de bajada en banda C a una frecuencia de 4 GHz será:

$$G[\text{dBi}] = 10\log(0.66(\pi * 2,4/0.075)^2)$$

$$G[\text{dBi}] = 38,24 \text{ dBi}$$

De esta manera se elige a la antena Prodelin serie 1251, la misma que cumple con los requisitos establecidos por INTELSAT.

En la Tabla 26 se detallan las características para la antena seleccionada.

Tabla 26. Características de la antena Prodelin serie 1251.

Características Eléctricas	Banda C/ Polarización lineal
Tamaño	2.4 metros de diámetro
Frecuencia de Operación (GHz): Recepción Transmisión	3,625-4,20 5,85-6,425
Ganancia en Recepción (dBi) Ganancia en Transmisión (dBi)	38 42
Temperatura de ruido (°K): 10° θ de elevación 20° θ de elevación 30° θ de elevación 40° θ de elevación	52 46 45 44
Ganancia del lóbulo lateral de recepción (dBi): 100λ/D < θ < 20° 20° < θ <= 26,3° 26,3° < θ <= 48° 48° < θ	29- 25log θ -3,5 32- 25log θ -10 (promedio)

Las características de esta antena son encontradas en el Anexo 1, de igual manera el certificado de aprobación que INTELSAT otorgó a Prodelin.

De acuerdo al documento IESS 207 de INTELSAT, la forma de calcular la figura de mérito para la antena transmisora de una estación terrena tipo A que trabaja en banda C, es la siguiente:

$$\frac{G}{T} = 35 + 20 \log(f/4) \quad (\text{Ecuación 54})$$

$$\frac{G}{T} = 35 + 20 \log(6/4)$$

$$\frac{G}{T} = 38,52 \text{ dB/°K}$$

Este valor reafirma que las antenas que serán implementadas cumplen con los estándares INTELSAT detallados en la tabla 23.

3.7.1.2 Cálculo del ángulo de elevación para las estaciones terrenas

El cálculo para el ángulo de elevación depende de los siguientes factores:

- Posición del satélite
- Longitud de la estación terrena
- Latitud de la estación terrena
- Distancia desde el centro de la Tierra hacia el satélite
- Radio medio de la tierra

La fórmula para el cálculo del ángulo de elevación de una antena en la estación terrena es la siguiente:

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{r - Re * \cos\theta_2 * \cos(\theta_s - \theta_1)}{Re * \sin[\cos^{-1}(\cos\theta_2 * \cos(\theta_s - \theta_1))]} \right] - \cos^{-1}(\cos\theta_2 * \cos[\theta_s - \theta_1])$$

(Ecuación 55)

Donde:

θ_s = Posición del satélite (315° E ó 45° O)

θ_1 = Longitud de la estación terrena

θ_2 = Latitud de la estación terrena

Re= Radio medio de la Tierra (6.378 Km)

r= Distancia del centro de la Tierra al satélite (42.164 Km)

Tomando como ejemplo el cálculo de elevación para la estación de Salinas se tiene lo siguiente:

Latitud= 2,1862 ° S

Longitud= 80,99° O

La expresión para calcular el ángulo de elevación para Salinas será ésta:

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - [6.378 \times 10^3 * \cos(2.18) * \cos(45 - 80,99)]}{6.378 \times 10^3 * \sin[\cos^{-1}(\cos(-2.18) * \cos(45 - 80,99))]} \right] - \cos^{-1}(\cos(2.18) * \cos(45 - 80,99))$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - [6.378 \times 10^3 * 0,99 * (0,809)]}{6.378 \times 10^3 * \sin[\cos^{-1}(0,99 * 0,809)]} \right] - [\cos^{-1}(0,99 * 0,809)]$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - [5108958,98]}{6.378 \times 10^3 * \sin[\cos^{-1}(0,8)]} \right] - [\cos^{-1}(0,8)]$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{37055041,02}{6.378 \times 10^3 * \sin[36,78]} \right] - 36,78^\circ$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{37055041,02}{2286477,55} \right] - 36,78^\circ$$

$$\alpha = \tan^{-1}(16,21) - 36,78^\circ$$

$$\alpha = 86,46^\circ - 36,78^\circ$$

$$\alpha = 49,69^\circ$$

Este proceso se realiza para todas las estaciones terrenas que forman parte de la red VSAT. Se lo encuentra detallado en el Anexo 3.

3.7.1.3 Cálculo del ángulo azimut para las estaciones terrenas

El cálculo para el ángulo azimut depende de los siguientes factores:

- Posición del satélite
- Longitud de la estación terrena
- Latitud de la estación terrena

La fórmula que se utiliza para calcularlo es la siguiente:

$$\beta = 180 + \tan^{-1} \left[\frac{\tan(\theta_s - \theta_1)}{[\cos \theta_2]} \right] \quad (\text{Ecuación 56})$$

Para el caso de la estación ubicada en Salinas se tiene la siguiente expresión:

$$\beta = 180 + \tan^{-1} \left[\frac{\tan(45^\circ - 80,99^\circ)}{[\cos(2,18)]} \right]$$

$$\beta = 180 + \tan^{-1} \left[\frac{-0,7262}{[0,99]} \right]$$

$$\beta = 180^\circ - (-36,264^\circ)$$

$$\beta = 216,26^\circ$$

Este mismo procedimiento se repite para todas las demás estaciones y se lo adjunta en el Anexo 3.

3.7.1.4 Cálculo de la distancia desde la estación terrena hacia el satélite

La distancia entre el satélite y una estación terrena depende directamente de los siguientes parámetros:

- Angulo de elevación de la estación terrena
- Distancia de la órbita geoestacionaria desde la Tierra (35.789 Km)
- Radio medio de la tierra

La ecuación para calcular este parámetro es la siguiente:

$$d = \sqrt{(Re + H)^2 + Re^2 - 2Re(Re + H) * \text{Sen}[\alpha + \text{Sen}^{-1} \left(\frac{Re}{Re+H} \right) * \text{Cos}(\alpha)]}$$

(Ecuación 57)

Donde:

Re= Radio medio de la Tierra (6.378 Km)

H= Distancia de la órbita geoestacionaria desde la Tierra (35789 Km)

α = Ángulo de elevación de la estación terrena

Para el caso de Salinas se tiene lo siguiente:

$$d = \sqrt{(6.378 + 35.789)^2 + (6.378)^2 - 2 * 6.378(6.378 + 35.789) * \text{Sen}[49,69^\circ + \text{Sen}^{-1} \left(\frac{6.378}{6.378+35.789} \right) * \text{Cos}(49,69^\circ)]}$$

$$d = \sqrt{(42.167)^2 + (6.378)^2 - 2 * 6.378(42.167) * \text{Sen}[49,69^\circ + \text{Sen}^{-1} \left(\frac{6.378}{42.167} \right) * \text{Cos}(49,69^\circ)]}$$

$$d = \sqrt{(42.167)^2 + (6.378)^2 - (537882252 * \text{Sen}[49,69^\circ + 8,669^\circ * 0,647])}$$

$$d = \sqrt{(42167)^2 + (6.378)^2 - (537882252 * \text{Sen}[49,69^\circ + 5,61^\circ])}$$

$$d = \sqrt{(42167)^2 + (6.378)^2 - 442206931,76}$$

$$d = \sqrt{1376527841,24} \text{ Km}$$

$$d = 37.101,6 \text{ Km}$$

A partir del cálculo de la distancia desde el satélite hasta la estación terrena se puede calcular el tiempo de retardo para la transmisión.

La ecuación 58 permite determinar el retardo existente.

$$t = \frac{d}{c} \quad (\text{Ecuación 58})$$

Donde:

t= retardo

d= distancia de la estación terrena al satélite

c= velocidad de la luz

Entonces, para el caso de Salinas se tendrá la siguiente expresión:

$$t = \frac{37.101,6 \times 10^3 \text{ [m]}}{3 \times 10^8 \text{ [m/s]}}$$

$$t = 123,7 \text{ ms}$$

El retardo total del enlace hacia Salinas será el doble del retardo calculado, debido a que la señal debe primero subir al satélite y luego bajar hacia el HUB, es decir que tendrá un valor de:

$$t = 247,34 \text{ ms}$$

El mismo procedimiento es realizado para los demás nodos de la red y se adjunta en el Anexo 3.

A continuación en la tabla 27 se revisa un resumen en donde se detallan los ángulos de elevación, azimut, distancia desde la estación hacia el satélite y tiempos de retardo para todas las estaciones terrenas que pertenecen a la red VSAT propuesta.

Tabla 27. Datos para las estaciones terrenas de la red VSAT propuesta

Estación	Ángulo de elevación(°)	Azimut (°)	Distancia desde la estación al satélite (Km)	Tiempo de retardo (ms)
Salinas	49,69	216,3	37.101,6	247,3
Puerto López	47,65	215,7	37.233,3	248,2
Ana Tenorio	51,55	212,9	36.984,6	246,6
San Juan Bosco	50,97	213,4	37.020,1	246,8
Zumba	49,97	214,2	37.082,9	247,2
Macará	49,1	215,0	37.138,3	247,9
Taisha	52,03	212,5	36.955,6	246,4
Lumbaqui	52,38	212,3	36.934,5	246,2
Santa Rosa	37,62	225,4	37.969,9	253,1
Rio Verde	49,92	214	37.085,9	247,2
Punta Galera	49,33	215	37.123,4	247,5
Lita	51,03	213,5	37.015,9	246,8
Cabo Pasado	48,88	215,4	37.152,4	247,7
Isla Puná	48,91	215,3	37.150,9	247,7
Macas	51,31	213,2	36.999,4	246,7
Sangay	51,07	213,6	37.014,1	246,8
OVT	50,96	213,5	37.020,8	246,8
IG	51,06	213,5	37.014,4	246,8

3.7.1.5 Elección del BUC y LNB

Después de haber escogido la antena, se procede a elegir a los componentes de la ODU para cada estación terrena, es decir, el BUC y el LNB que serán implementados.

Tal como se revisó en el capítulo 1, el BUC actúa en la transmisión desde la estación terrena hacia el satélite. De acuerdo a las especificaciones técnicas que se detallan en el manual de seguridad e instalación del módem, se escoge un BUC para banda C con potencia de 5 vatios marca JRC modelo NJT5669.

Las principales características del BUC se detallan a continuación en la tabla 28.

Tabla 28. Características del BUC que se utilizará en el diseño de las estaciones terrenas.

Marca	Modelo	Especificaciones
JRC	NJT5669	Potencia máxima a la salida 5 vatios
		Frecuencia RF Banda C (GHz) (5,85-6,425)
		Frecuencia IF (MHz) (950-1.525)
		Alimentación +24 VDC (+15 a +30 VDC)

En cuanto al LNB, también se hace referencia a las hojas técnicas del módem satelital iDirect para revisar la compatibilidad. Se escogió el LNB marca NORSAT, modelo 8000R, cuyas características principales se detallan en la tabla 29.

Tabla 29. Características del LNB que se utilizará en el diseño de las estaciones terrenas.

Marca	Modelo	Especificaciones
NORSAT	3120	Frecuencia de entrada (GHz) 3,7- 4,20
		Frecuencia de salida (MHz) (950 – 1.450)
		Temperatura de ruido (°K) 20-30
		Ganancia de conversión (dB) 62

La información detallada acerca del LNB y BUC se la encuentra en el Anexo 1. Una vez elegido el equipamiento que se debe utilizar para el diseño de las estaciones terrenas, mediante la ecuación 10, donde se describe el cálculo para el ancho de banda de una señal con técnica de modulación QPSK, se calcula el ancho de banda para cada nodo de la red.

3.7.2 Cálculos para el cómputo del enlace

3.7.2.1 Determinación tráfico provocado por cada estación terrena

Para determinar el ancho de banda que cada una de las estaciones requiere, es necesario definir el tipo de equipos que serán conectados en cada nodo y el equipamiento (módem satelital) que se implementará, ya que el tipo de codificación FEC depende directamente del tipo de equipo.

Tal como se revisó en el capítulo 1, existe la posibilidad de calcular el ancho de banda relacionando el throughput de cada estación, su técnica de modulación y la codificación FEC.

En el capítulo 2 se realizaron las mediciones respectivas para conocer el tráfico que generan los diferentes equipos de monitorización; de esta manera, se tomarán en cuenta esos datos para calcular el ancho de banda necesario.

En la tabla 30 se detallan los equipos destinados a cada nodo, de igual manera el tráfico que éstos generan partiendo de las mediciones realizadas en el capítulo 2.

Tabla 30. Tráfico provocado por cada nodo de la red VSAT propuesta

Estación	Tipo	Equipos de monitorización	Tráfico (Kbps)
Salinas	Repetidor/Sísmica/ Acelerógrafo	Estación: <ul style="list-style-type: none"> • Digitalizador Q330 • Acelerógrafo Guralp • Sensor sísmico Repetidora: <ul style="list-style-type: none"> • Radio FreeWave • Estación sísmica Cerro Blanco • Estación sísmica en Playas 	241,8
Puerto López	Sísmica/Acelerógrafo	Estación: <ul style="list-style-type: none"> • Digitalizador Q330 • Acelerógrafo Guralp • Sensor sísmico 	120
Ana Tenorio	Sísmica/Acelerógrafo	Estación: <ul style="list-style-type: none"> • Digitalizador Q330 • Acelerógrafo Guralp 	120

		<ul style="list-style-type: none"> • Sensor sísmico 	
San Juan Bosco	Sísmica	Estación: <ul style="list-style-type: none"> • Digitalizador Q330 • Sensor sísmico 	60,88
Zumba	Sísmica/ GPS/Acelerógrafo	Estación: <ul style="list-style-type: none"> • Digitalizador Q330 • Acelerógrafo Guralp • Sensor sísmico • GPS 	145
Macará	Sísmica/ Acelerógrafo/GPS	Estación: <ul style="list-style-type: none"> • Digitalizador Q330 • Acelerógrafo Guralp • Sensor sísmico • GPS 	145
Taisha	Sísmica/ Acelerógrafo/GPS	Estación: <ul style="list-style-type: none"> • Digitalizador Q330 • Acelerógrafo Guralp • Sensor sísmico • GPS 	145
Lumbaqui	Repetidor/Concentrador	Repetidor 1: <ul style="list-style-type: none"> • Radio FreeWave 1 • Estación sísmica/GPS en Lava4 • Estación sísmica/GPS en Azuela 	577

		<ul style="list-style-type: none"> • Cámara volcán Reventador <p>Repetidor 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Radio FreeWave 2 • Estación sísmica/acelerógrafo Cascales • Estación sísmica/GPS en CONE 	
Santa Rosa (Islas Galápagos)	Repetidor/Concentrador	<p>Repetidor 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Radio FreeWave 1 • Estación sísmica/GPS en volcán Sierra Negra • Estación detectora de CO2/cámara en el Azufra • Estación Sísmica en Caleta Web • Estación Sísmica en Punta Mangle <p>Repetidor 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Radio FreeWave 2 • Estación sísmica en Punta Alfaro 	613,52

		<ul style="list-style-type: none"> • Estación acelerógrafo/sísmica en la Lobería • Estación sísmica en Punta Espinoza 	
Rio Verde	Estación multiparamétrica	Estación: <ul style="list-style-type: none"> • Digitalizador Q330 • Acelerógrafo Guralp • Sensor sísmico • GPS 	145
Punta Galera	Estación multiparamétrica	Estación: <ul style="list-style-type: none"> • Digitalizador Q330 • Acelerógrafo Guralp • Sensor sísmico • GPS 	145
Lita	Sísmica/ infrasonido	Estación: <ul style="list-style-type: none"> • Digitalizador Q330 • Microbarómetro • Sensor sísmico 	63,88
Cabo Pasado	Estación multiparamétrica	Estación: <ul style="list-style-type: none"> • Digitalizador Q330 • Acelerógrafo Guralp • Sensor sísmico • GPS 	145
Isla Puná	Sísmica/Acelerógrafo/	Estación: <ul style="list-style-type: none"> • Digitalizador Q330 • Acelerógrafo 	145

	GPS	<ul style="list-style-type: none"> • Sensor sísmico • GPS 	
Macas	Sísmica	Estación: <ul style="list-style-type: none"> • Digitalizador Q330 • Sensor sísmico 	60,88
Sangay	Sísmica/Infrasonido/CO 2	Estación: <ul style="list-style-type: none"> • Digitalizador Q330 • Acelerógrafo • Microbarómetro • Detector CO2 	123,88
OVT	Respaldo IG	Al OVT llegará el tráfico correspondiente a toda la red.	2.996,84
IG	Recepción de toda las estaciones	Al IG llegará el tráfico correspondiente a toda la red.	2.996,84

3.7.2.2 Elección del modem satelital a utilizar

El procedimiento para elegir el módem satelital que se debe implementar en las estaciones terrenas es similar al realizado para escoger la antena.

INTELSAT, mediante los documentos IESS permiten al diseñador de la red establecer el tipo de equipamiento que debe elegir para su red.

De tal manera, investigando algunas marcas y características de módems y equipos, se escogió el modem de marca iDirect modelo X3 evolution.

Las principales características del módem se detallan en la tabla 31 a continuación.

Tabla 31. Características para el módem satelital iDirect X3 Evolution

Marca	Modelo	Configuración para la red	Interfaces
iDirect	X3 Evolution	Método de Acceso TDMA	Compatibilidad con Satcom (Prodelin)
		Técnica de modulación QPSK	Interface BUC Potencia máx.= 70 W; 24 Voltios
		FEC= $\frac{3}{4}$	Interface LNB Corriente máx.=500 mA; 19 Voltios
		Velocidad máxima de información= 12,8 Mbps	Interfaces para datos LAN:10/100 Ethernet RS232:Conexión consola
			Protocolos TCP, UDP, ACL, ICMP, IGMP, RIPv2

Las demás características del módem se las adjunta en el Anexo 1.

3.7.2.3 Determinación del ancho de banda requerido por cada portadora de la red VSAT

Tal como se revisó en el capítulo 1, el ancho de banda ocupado por la portadora de cada nodo dependerá del factor FEC y de la velocidad de transmisión de los datos, en este caso el throughput o tasa de transferencia de los bits.

De esta manera, el ancho de banda que corresponde al nodo de Salinas se calcula de la siguiente manera:

$$BW[\text{KHz}] = \left(\frac{V_{tx}}{\frac{FEC}{2}} \right) * 1,4$$

$$BW[\text{KHz}] = \left(\frac{\frac{241,8}{3/4}}{2} \right) * 1,4$$

$$BW[\text{KHz}] = \left(\frac{81,173}{2} \right) * 1,4$$

$$BW[\text{KHz}] = 225,68 \text{ KHz}$$

El mismo procedimiento es realizado para los demás nodos de la red y se encuentra adjunto en el Anexo 3 del presente documento.

Las características de las portadoras se encuentran detalladas en la tabla 32.

Tabla 32. Características para las portadoras de la red VSAT propuesta.

Portadora	Modulación	FEC	Ancho de banda (KHz)	Velocidad (Kbps)	Técnica de Acceso
Salinas	QPSK	3/4	225,68	241,8	TDMA
Puerto López	QPSK	3/4	112	120	TDMA
Ana Tenorio	QPSK	3/4	112	120	TDMA
San Juan Bosco	QPSK	3/4	56,82	60,88	TDMA
Zumba	QPSK	3/4	135,34	145	TDMA
Macará	QPSK	3/4	135,34	145	TDMA
Taisha	QPSK	3/4	135,34	145	TDMA
Lumbaqui	QPSK	3/4	538,53	577	TDMA
Santa Rosa	QPSK	3/4	572,62	613,52	TDMA

Rio Verde	QPSK	$\frac{3}{4}$	135,34	145	TDMA
Punta Galera	QPSK	$\frac{3}{4}$	135,34	145	TDMA
Lita	QPSK	$\frac{3}{4}$	59,62	63,88	TDMA
Cabo Pasado	QPSK	$\frac{3}{4}$	135,34	145	TDMA
Isla Puná	QPSK	$\frac{3}{4}$	112	120	TDMA
Macas	QPSK	$\frac{3}{4}$	56,82	60,88	TDMA
Sangay	QPSK	$\frac{3}{4}$	115,62	123,88	TDMA
OVT	QPSK	$\frac{3}{4}$	2.797,1	2.996,84	TDMA
IG	QPSK	$\frac{3}{4}$	2.797,1	2.996,84	TDMA

3.7.2.4 Determinación del ancho de banda para alquilar

Se observa que el ancho de banda total requerido para la red es de aproximadamente 3 MHz, por lo tanto, ese será el segmento espacial para alquilarse por Inbound.

Como la técnica de acceso al satélite es TDMA, cada estación transmitirá en un instante de tiempo y lo dejará de hacer cuando otra ocupe el segmento espacial.

Si se tiene una estación que ocupa un ancho de banda de 112 KHz, al momento de transmitir al satélite, ésta ocupará un espacio de 3 MHz, es decir, se desperdiciará recursos, ya que en TDMA el segmento para inbound es igual que para outbound.

La tecnología iDirect en TDMA permite enviar un grupo de estaciones de menor ancho de banda al requerido, en el mismo instante de tiempo, es decir aprovechamiento del canal por multiplexación. Por ejemplo, se puede dividir a

la red en tres grupos de acuerdo al tráfico, con la finalidad de desperdiciar menos ancho de banda.

Grupo 1:

Tabla 33. Grupo 1 de estaciones Red VSAT

Estación	Ancho de banda por nodo (Kbps)	Ancho de banda total (MHz)	Total del segmento espacial (MHz)	Restante (KHz)
Isla Puná	112	0,678	3	2,3
Sangay	116			
Ana Tenorio	112			
Puerto López	112			
Salinas	226			

Tabla 34. Grupo 2 de estaciones Red VSAT

Estación	Ancho de banda por nodo (Kbps)	Ancho de banda total (MHz)	Total del segmento espacial (MHz)	Restante (KHz)
Cabo Pasado	136	0,816	3	2,184
Río Verde	136			
Macará	136			
Taisha	136			
Zumba	136			
Punta Galera	136			

Tabla 35. Grupo 3 de estaciones Red VSAT

Estación	Tráfico por cada nodo (Kbps)	Ancho de banda total (MHz)	Total del segmento espacial (MHz)	Restante (KHz)
Lumbaqui	540	1,3	3	1,7
Santa Rosa	580			
Macas	57			
Lita	60			
San Juan Bosco	57			

Haciendo este tipo de configuración, se tienen 3 topologías en estrella ahorrando ancho de banda en el satélite y optimizando recursos sin desperdiciar dinero por un espacio sin utilizar.

La desventaja de esta configuración es que, al momento de instalar la recepción en el Instituto, se necesitarán tres tarjetas de red, una por cada red en estrella.

Los cálculos del cómputo del enlace se los realiza de manera independiente, cada estación transmitirá hacia el satélite en un instante de tiempo, a una velocidad distinta, que dependerá de su tráfico, tal como indica TDMA.

Por su parte, el satélite enviará los 3 MHz hacia el HUB, los mismos que se transmitirán desde éste hacia el IG y el OVT.

El ancho de banda sobrante (alrededor de 300 MHz) será utilizado en el caso de que la red requiera de más estaciones.

3.7.2.5 Elección del router que se utilizará en el diseño de la red VSAT

Los equipos tanto para transmisión como para monitoreo sísmico y volcánico son digitales, es decir, manejan direcciones IP.

La conexión entre los equipos de monitoreo y el modem satelital no puede ser realizada de manera directa, se lo hace a través de un router, el mismo que es el encargado de encaminar las señales desde los diferentes nodos VSAT hacia el HUB y desde el HUB hacia el Instituto y el OVT.

Este encaminamiento se lo hace a través de direcciones IP, estas direcciones deben ser designadas por el Instituto ya que es ahí justamente donde se ubicará el servidor encargado de adquirir los datos de la red.

Se debe escoger el router de acuerdo a la cantidad de tráfico que produzca cada estación.

Para este caso se elige el router marca JUNIPER, modelo SRX210, el mismo que es capaz de manejar tráfico desde 850 Mbps. La hoja técnica correspondiente a este equipo se encuentra adjunta en el Anexo 1 del presente documento.

3.7.2.6 Cálculo de las pérdidas en el espacio libre para cada estación terrena en el enlace ascendente

De acuerdo a la ecuación 1 establecida en el primer capítulo de este documento, para calcular las pérdidas en el espacio libre desde cada estación terrena se tiene:

$$L_p = 92,44 + 20\log(d)[\text{Km}] + 20\log(f) [\text{GHz}]$$

Donde:

d= distancia entre la estación terrena y el satélite

De esta manera, las pérdidas en el enlace ascendente para la estación de Salinas serán:

$$L_{pu} [\text{dB}] = 92,44 + 20 \log (37.101,6) [\text{Km}] + 20 \log(6) [\text{GHz}]$$

$$L_{pu} [\text{dB}] = 92,44 + 91,38 + 15,6$$

$$L_{pu} [\text{dB}] = 199,38 \text{ dB}$$

A este valor se debe sumar las pérdidas por absorción atmosférica y lluvias obtenidas a partir de las tablas 5 y 7 del capítulo 1, es decir, para banda C se tiene lo siguiente:

$$L_u [\text{dB}] = 0,0371 + 1,91$$

$$L_u [\text{dB}] = 1,95$$

$$L_d [\text{dB}] = 0,0408 + 0,2$$

$$L_d [\text{dB}] = 0,24$$

Los cálculos correspondientes a las pérdidas de propagación para las demás estaciones terrenas se adjuntan en el Anexo 3.

3.7.2.7 Cálculo del PIRE para las estaciones terrenas

Tal como se demostró en la ecuación 7 descrita en el primer capítulo de este documento, la PIRE para cada estación terrena se calcula de la siguiente forma:

$$\text{PIRE} = 10 \log(P_{Tx}) [\text{dB}] + G_{Tx} [\text{dB}]$$

Para el diseño de las estaciones terrenas se designó una antena de 1,80 metros de diámetro, a la que corresponde una ganancia de 39,26 dBi, lo que fue calculado en el literal 3.7.1.1.

La potencia de transmisión del BUC es de 5 vatios, de tal manera que la expresión para calcular la PIRE será:

$$\text{PIRE} = 10 \log(5) + 39,26$$

$$\text{PIRE} = 46,25 \text{ dBi}$$

Esta potencia es la misma para la mayoría de las estaciones terrenas, con excepción del Hub, IG, OVT, Lumbaqui y Santa Rosa, las dos últimas presentan mayor cantidad de tráfico por lo que se recomienda aumentar el tamaño de la antena para transmitir con mayor ganancia.

Para el caso del HUB, su PIRE es mucho mayor, debido a que la antena es de un diámetro superior a las demás antenas de la red.

El PIRE para Lumbaqui, IG, OVT y Santa Rosa se lo calcula tomando en cuenta la ganancia de la antena Prodelin modelo 1251 detallada en la tabla 26.

$$\text{PIRE} = 10 \log(5) + 42$$

$$\text{PIRE} = 48,9 \text{ dBi}$$

3.7.2.8 Densidad de flujo por portadora en el satélite

Este término hace referencia a la densidad de flujo de potencia que llega de manera efectiva al satélite desde cada estación terrena.

La DFPs se la calcula tomando en cuenta lo siguiente:

- PIRE de cada estación terrena
- Pérdidas de propagación en el enlace de subida
- Margen para compensar errores por lluvia (banda C aproximadamente 3dB.)
- Ganancia de la antena de 1m^2

La ganancia de la antena de 1 m^2 se refiere a la ganancia de una antena normalizada ideal, y se define de la siguiente manera:

$$G \left[\frac{\text{dBi}}{\text{m}^2} \right] = 20 \log(f) + 21,46 \quad (\text{Ecuación 59})$$

Entonces la DFPs se calculará de la siguiente manera:

$$\text{DFPs} = \text{PIRE}[\text{dBW}] + \text{Meu}[\text{dB}] + G \left[\frac{\text{dBi}}{\text{m}^2} \right] - \text{Lu} - \text{Lpu}$$

(Ecuación 60)

Donde:

Meu= Margen para compensar errores por lluvia. Valor en el peor de los casos 3dB.

Para el caso de Salinas la DFPs se obtiene de la siguiente manera:

$$\text{DFPs} = 46,25 + 3 + 20 \log(6) + 21,46 - 199,38 - 1,95$$

$$\text{DFPs} = -115,06 \text{ dBi/m}^2$$

Los cálculos de la DFPs para las demás estaciones terrenas se adjunta en el Anexo 3.

3.7.2.9 Densidad de flujo de saturación del transpondedor hacia la estación terrena

Este valor se obtiene de la resta entre la densidad de flujo de saturación del transpondedor en el borde del haz de cobertura y el valor de ventaja de la ubicación de la estación terrena en el enlace ascendente, la que en el peor de los casos es igual a cero.

En la tabla 22 se detalla los valores de la densidad de flujo de saturación para el transpondedor, para los cálculos de diseño se toma el valor más crítico, es decir, será de -73 dBW/m^2 .

3.7.2.10 Backoff de entrada por portadora

Este término fue explicado en el capítulo 1 literal 1.4.2.13 del presente documento, hace referencia al margen que existe entre la densidad de flujo de potencia por cada portadora presente en el satélite y la densidad de saturación del transpondedor.

$$BO_i[\text{dB}] = \text{DFPs} \left[\frac{\text{dBW}}{\text{m}^2} \right] - \text{DFP sat. et} \left[\frac{\text{dBW}}{\text{m}^2} \right] \quad (\text{Ecuación 61})$$

Para el caso de la portadora de Salinas se tiene lo siguiente:

$$BO_i[\text{dB}] = -115,06 \left[\frac{\text{dBW}}{\text{m}^2} \right] - (-73) \left[\frac{\text{dBW}}{\text{m}^2} \right]$$

$$BO_i[\text{dB}] = -42,06 \left[\frac{\text{dBW}}{\text{m}^2} \right]$$

Los cálculos del BO_i para las demás estaciones terrenas se adjunta en el Anexo 3.

3.7.2.11 Backoff de salida por portadora

Como se pudo observar en el literal 1.4.2.14 del capítulo 1, el BO_o está dado por la fórmula:

$$BO_o[\text{dBW}] = BO_i[\text{dBW}] - X[\text{dBW}]$$

En donde X dependerá exclusivamente de las características del satélite utilizado, para este caso particular será de 5 dB, el cual es un valor típico para satélites INTELSAT.

De esta manera, para la portadora de Salinas se tendrá lo siguiente:

$$BO_o[\text{dBW}] = -42,06 - 5$$

$$BO_o[\text{dBW}] = -47,06$$

3.7.2.12 Relación C/T en el enlace ascendente para cada portadora

La expresión para calcular este valor fue dada mediante la ecuación 42, y es:

$$\frac{C}{T} \left[\frac{\text{dBW}}{^\circ\text{K}} \right]_u = \text{PIRE}[\text{dBW}] - L_{pu}[\text{dB}] - L_u[\text{dB}] + (G/T)_s[\text{dB}/^\circ\text{K}] - M_{eu}$$

La relación G/T es un dato propio de cada satélite, para el IS-14 se tomará el valor más bajo (caso extremo) de $-7,1$ [dB/°K], citado en la tabla 22.

Para el caso de la portadora de Salinas será:

$$\frac{C}{T} \left[\frac{\text{dBW}}{^\circ\text{K}} \right]_u = 46,26[\text{dBW}] - 199,38[\text{dB}] - 1,95 - 7,1 \left[\frac{\text{dB}}{^\circ\text{K}} \right] - 3\text{dB}$$

$$\frac{C}{T} \left[\frac{\text{dBW}}{^\circ\text{K}} \right]_u = -165,17 \left[\frac{\text{dBW}}{^\circ\text{K}} \right]$$

3.7.2.13 Relación C/T en el enlace descendente para cada portadora

La expresión para calcular este valor fue dada mediante la ecuación 42, y es:

$$\frac{C}{T} \left[\frac{\text{dBW}}{^\circ\text{K}} \right]_d = \text{PIRE}[\text{dBW}] - L_{pd}[\text{dB}] - L_d[\text{dB}] + G/T[\text{dB}/^\circ\text{K}] - M_{eu}$$

Para realizar el cálculo de este valor, en primer lugar se debe obtener las pérdidas en el espacio libre para cada enlace de bajada a una frecuencia de 4 GHz, la que se utiliza para la banda C por el satélite INTELSAT IS-14.

Para Salinas será la siguiente expresión:

$$L_{pd} [\text{dB}] = 92,44 + 20\log(37.101,6)[\text{Km}] + 20\log(4) [\text{GHz}]$$

$$L_{pd} [\text{dB}] = 92,44 + 91,38 + 12,04$$

$$L_{pd} [\text{dB}] = 195,86 \text{ dB}$$

Para calcular la PIRE en el enlace descendente, se debe tomar en cuenta el valor de la potencia que el satélite entrega en el borde del haz, este dato se

especifica en la figura 80, determinando que el valor del PIRE entregado por el satélite IS-14 en banda C es de 43,5 dB.

Entonces, tal cual se determinó en el literal 3.7.2.8 del presente capítulo, se debe añadir el valor del BOo (reducción a la potencia de salida), obteniendo el PIRE total para el enlace descendente de la siguiente manera:

$$\text{PIREd} = \text{PIRE sat} + \text{BOo}$$

$$\text{PIREd} = 43,5 \text{ dB} - 47,06 \text{ dB}$$

$$\text{PIREd} = -3,56 \text{ dB}$$

El valor G/T se obtuvo de la ecuación 54 y corresponde al valor de la figura de mérito para una antena Prodelin serie 1184.

Por consiguiente, la expresión C/T para la portadora de Salinas será la siguiente:

$$\frac{C}{T} \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right]_{\text{d}} = -3,56[\text{dBW}] - 195,86[\text{dB}] - 0,24 + 38,52 \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}} \right] - 3\text{dB}$$

$$\frac{C}{T} \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right]_{\text{d}} = -164,14$$

Los cálculos requeridos para obtener el valor de la relación C/T por cada portadora en el enlace descendente son detallados en el Anexo 3.

3.7.2.14 Relación C/T total por cada portadora

La relación C/T total por portadora se obtiene sumando las recíprocas de los valores individuales de C/T obtenidos en los literales 3.7.2.9 y 3.7.2.10. De esta manera se obtiene la siguiente expresión:

$$\left(\frac{1}{C} \right)_{\text{tot}} = \left(\frac{1}{C_{\text{up}}} \right) + \left(\frac{1}{C_{\text{d}}} \right)$$

Para el caso de Salinas se tiene lo siguiente:

$$\left(\frac{1}{\overline{C}}\right)_{\text{tot}} = \left(\frac{1}{10^{(-165,17/10)}}\right) + \left(\frac{1}{10^{(-164,14/10)}}\right)$$

$$\left(\frac{1}{\overline{C}}\right)_{\text{tot}} = 3,31 \times 10^{16} + 2,6 \times 10^{16}$$

$$\left(\frac{1}{\overline{C}}\right)_{\text{tot}} = 5,91 \times 10^{16}$$

$$\left(\frac{C}{\overline{T}}\right)_{\text{tot}} = 1,7 \times 10^{-17}$$

$$\left(\frac{C}{\overline{T}}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{^{\circ}\text{K}}\right] = 10\log(1,7 \times 10^{-17})$$

$$\left(\frac{C}{\overline{T}}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{^{\circ}\text{K}}\right] = -167,7 \text{ dBW}$$

Este valor servirá para calcular la relación C/N total por portadora y se especifica detalladamente en el Anexo 3 para cada una de las estaciones de la red.

3.7.2.15 Relación C/N por portadora en recepción

La relación portadora a ruido C/N es un valor de importancia extrema, indica el rendimiento del enlace y su correcto desempeño. Se la calcula a partir de la ecuación 46.

Para el caso de la portadora de Salinas se tiene lo siguiente:

$$\frac{C}{N} [\text{dB}] = \left(\frac{C}{\overline{T}}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{^{\circ}\text{K}}\right] - 10\log BW [\text{dB}] - k [\text{dBW}/^{\circ}\text{K}/\text{Hz}]$$

El ancho de banda ocupado (BW) fue calculado en el literal 3.7.2.2 de este documento, para la portadora de Salinas tiene un valor de 225, 68 KHz, es decir 228.680 Hz. Este valor debe ser convertido en dB de la siguiente manera:

$$BW [dB] = 10 \log(BW)$$

$$BW [dB - Hz] = 10 \log(228.680)$$

$$BW [dB - Hz] = 53,6$$

Por lo tanto, el valor de la relación C/N para Salinas será:

$$\frac{C}{N} [dB] = -167,7 - 53,6 + 228,6$$

$$\frac{C}{N} [dB] = 7,3$$

Para el caso del OVT y del IG, en transmisión el ancho de banda es muy pequeño, estas dos estaciones no generan tráfico, lo reciben desde el HUB central donde estará el proveedor. Para fines de cálculo, se determina un ancho de banda aproximado de 128 KHz en transmisión para ambos sitios.

Para el IG la relación C/N será la siguiente:

$$\frac{C}{N} [dB] = \left(\frac{C}{T} \right)_{tot} \left[\frac{dB}{^{\circ}K} \right] - 10 \log BW [dB] - k [dBW/^{\circ}K/Hz]$$

$$\frac{C}{N} [dB] = -164,4 \left[\frac{dB}{^{\circ}K} \right] - 10 \log(128000) [dB] + 228,6 [dBW/^{\circ}K/Hz]$$

$$\frac{C}{N} [dB] = 13,12$$

Para el OVT la relación C/N tiene un valor similar, ya que la relación C/T fue la misma en ambos casos.

3.7.2.16 Relación C/No por portadora en el enlace ascendente y descendente

Este valor es necesario para calcular la relación Eb/No para cada enlace, se expresa mediante la fórmula 29 de la siguiente manera:

$$\left(\frac{C}{No} \right)_u = PIRE_u [dBW] + L_{pu} [dB] + L_u [dB] + \left(\frac{G}{T} \right)_s \left[\frac{dB}{^{\circ}K} \right] - k [dBW/^{\circ}K/Hz]$$

$$\left(\frac{C}{No} \right)_d = PIRE_d [dBW] + L_{pd} [dB] + L_d [dB] + \left(\frac{G}{T} \right)_e \left[\frac{dB}{^{\circ}K} \right] - k [dBW/^{\circ}K/Hz]$$

Este valor, al igual que los anteriores, se lo debe calcular por cada portadora, en ambos sentidos, es decir, para el enlace ascendente y descendente. Para el caso de Salinas se tiene:

a) Enlace ascendente

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_u = 46,25 - 199,38 - 1,95 - 7,1 + 228,6$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_u = 66,42 \text{ dB}$$

b) Enlace descendente

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_d = -3,56 - 195,86 - 0,24 + 38,52 + 228,6$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_d = 67,46 \text{ dB}$$

3.7.2.17 Relación Eb/No por cada portadora tanto en el enlace ascendente como descendente

En la fórmula 40 se indica cómo hay que calcular la relación Eb/No para cada portadora de la red VSAT propuesta. De esta manera, para Salinas se tiene lo siguiente:

a) Enlace ascendente

$$(E_b/N_o)_u = (C/N_o)_u - 10 \log(V_{tx})$$

La velocidad debe estar expresada en bits por segundo, es decir, para este ejemplo debe ser 241800 bits/s y es simétrica.

$$(E_b/N_o)_u = 66,42 - 10 \log(241800)$$

$$\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_u = 12,6 \text{ dB}$$

b) Enlace descendente

$$(E_b/N_o)_d = (C/N_o)_d - 10 \log(V_{tx})$$

$$(E_b/N_0)_d = 67,46 - 10 \log(241800)$$

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_d = 13,62 \text{ dB}$$

3.7.2.18 Determinación del BER o eficiencia del enlace

Una vez calculados los parámetros del enlace para cada una de las estaciones terrenas, se deberá determinar la eficiencia de los mismos.

Mientras más pequeño sea el valor del BER mejor será el enlace, es decir será más eficiente.

Mediante la figura 25 se pudo determinar gráficamente el valor de este parámetro. Para la técnica de modulación QPSK con un FEC de 3/4 y un E_b/N_0 ascendente de 12,6 que se obtuvo en el literal 3.7.2.14, corresponde un BER aproximado de 10^{-8} ; es decir, eficiencia máxima del enlace considerando las peores condiciones, tales como:

- Pérdidas por absorción
- Pérdidas por lluvias
- Margen para errores por lluvia de 3dB, caso crítico.
- Relación G/T del satélite más baja
- DFP del satélite más crítica

A continuación en las tablas 36 y 37 se presentan dos resúmenes de los parámetros para el cálculo del cómputo de enlace por cada portadora.

Tabla 36. Valores para el cómputo del enlace por portadora

Estación	DFPs (dBW/m²)	BOi (dBW)	BOo (dBW)	(C/T)u (dBW/°K)	(C/T)d (dBW/°K)	(C/T)t (dBW/°K)
Salinas	-115,06	-42,06	-47,06	-165,17	-164,14	-167,7
Puerto López	-115,14	-42,14	-47,14	-165,25	-164,26	-167,9
Ana Tenorio	-115,14	-42,14	-47,14	-165,19	-164,2	-167,7
San Juan Bosco	-115,09	-42,09	-47,09	-165,2	-164,16	-167,7
Zumba	-115,1	-42,1	-47,1	-165,21	-164,18	-167,7
Macará	-115,12	-42,12	-47,12	-165,23	-164,22	-167,7
Taisha	-115,08	-42,08	-47,08	-165,19	-164,15	-167,7
Lumbaqui	-112,42	-39,42	-44,42	-162,54	-161,47	-165,0
Santa Rosa	-112,66	-39,66	-44,66	-162,78	-161,96	-165,4
Rio Verde	-115,1	-42,1	-47,1	-165,21	-164,18	-167,7
Punta Galera	-115,11	-42,11	-47,11	-165,22	-164,18	-167,7
Lita	-115,09	-42,09	-47,09	-165,2	-164,15	-167,7
Cabo Pasado	-115,12	-42,12	-47,12	-165,24	-164,22	-167,7
Isla Puná	-115,12	-42,12	-47,12	-165,24	-164,22	-167,7
Macas	-115,12	-42,12	-47,12	-165,24	-164,18	-167,7
Sangay	-115,08	-42,08	-47,08	-165,19	-164,15	-167,7
OVT	-112,44	-39,44	-44,44	-162,56	-159,68	-164,4
IG	-112,44	-39,44	-44,44	-162,56	-159,68	-164,4

Tabla 37. Valores para el cómputo del enlace por portadora

Estación	C/N (dB)	(C/No)_u (dB)	(C/No)_d (dB)	(Eb/No)_u (dB)	BER
Salinas	7,3	66,42	67,46	12,6	10^{-8}
Puerto López	10,21	66,4	67,42	15,61	10^{-8}
Ana Tenorio	10,41	66,34	67,48	15,60	10^{-8}
San Juan Bosco	13,25	66,39	67,47	18,54	10^{-8}
Zumba	9,58	66,38	67,46	14,5	10^{-8}
Macará	9,58	66,36	67,44	14,7	10^{-8}
Taisha	9,58	66,4	67,49	14,8	10^{-8}
Lumbaqui	6,29	69,09	70	8,8	10^{-6}
Santa Rosa	5,6	68,8	69,64	8,3	10^{-6}
Rio Verde	9,58	66,38	67,46	14,8	10^{-8}
Punta Galera	9,58	66,38	67,44	14,8	10^{-8}
Lita	13,15	66,39	67,48	18,3	10^{-8}
Cabo Pasado	9,58	66,36	67,44	14,7	10^{-8}
Isla Puná	10,41	66,36	67,44	15,6	10^{-8}
Macas	13,25	66,36	67,48	18,5	10^{-8}
Sangay	10,26	66,4	67,47	15,5	10^{-8}
OVT	13,12	69,04	70,09	17,96	10^{-8}
IG	13,12	69,04	70,09	17,96	10^{-8}

Los resultados obtenidos para el nivel de BER son exitosos, el más bajo está alrededor de 10^{-6} que no es crítico. En el caso de Santa Rosa, en las Galápagos, un factor que influencia en un BER más bajo son las pérdidas por atenuación en el espacio libre y la cantidad de tráfico, se puede mejorar el nivel de enlace aumentando el tamaño de la antena por otra de 3.5 metros de diámetro. A nivel de Eb/No, los valores son buenos, típicamente en banda C

pueden darse valores entre 6 y 20 dB; es decir el diseño se encuentra entre ambos límites.

De acuerdo a esto se decide diseñar la red con los equipos escogidos en los literales 3.7.1.1 y 3.7.1.5 que trabajarán con el satélite INTELSAT IS-14.

Entonces se diseña dos tipos de estaciones, para facilitar la redacción y planificación se las denominará estación tipo 1 y estación tipo 2.

A la estación tipo 1 corresponde la mayor parte de los nodos VSAT de la red y la conformarán los siguientes elementos:

- Antena Prodelin modelo 1184, 1.8 metros de diámetro
- Modem satelital iDirect modelo X3 evolution
- Router Juniper modelo SRX210
- BUC
- LNB Norsat

La estación tipo 2, estará instalada en los nodos de Lumbaqui, Santa Rosa, IG y OVT. La conformarán los siguientes elementos:

- Antena Prodelin modelo 1251, 2.4 metros de diámetro
- Modem satelital iDirect modelo X3 evolution
- Router Juniper modelo SRX210
- BUC
- LNB Norsat

3.7.2.19 Elección del proveedor del servicio y cálculos para el HUB

En el Ecuador existen proveedores de servicio satelital, tanto para transmisión de datos como para telefonía y televisión.

Después de haber realizado los cálculos para los enlaces de cada nodo VSAT hacia el satélite, se requiere determinar el proveedor del servicio y de esta manera las características del HUB y con ello realizar los cálculos respectivos para el enlace de subida y de bajada respectivamente.

Debido a que el Instituto Geofísico es una entidad estatal, se requiere levantar un proceso en el portal de compras públicas con al menos tres proveedores en concurso.

De todas las empresas que se presentaron al concurso se escoge la que mejor precio oferte al cliente, por lo general esa empresa es la ganadora.

Entre todas las opciones se escoge a LEVEL 3, una empresa con representación nacional e internacional, encargada de las comunicaciones satelitales y vía fibra óptica en varios países.

3.7.2.19.1 LEVEL 3

Es una empresa de soluciones tecnológicas que se basa en crear una red de telecomunicaciones de alta escala.

Entre los principios de la organización se encuentran:

- Reducir costos unitarios
- Estimular la demanda gracias a los bajos costos
- Apoyo a la demanda (level3, s.f.).

La empresa se fundó en 1985 bajo el nombre de Kiewit Diversified Group Inc. (KDG), fue una subsidiaria cuyo propietario total era Peter Kiewit Sons, Inc. (PKS).

En 1998 KDG anunció que cambiaría su razón social a LEVEL 3 Communications. Durante ese año, LEVEL 3 recaudó más de 14.000 millones de dólares y fue designada como la compañía start-up mejor financiada de la historia.

La empresa construyó alrededor de 32.000 Km de redes de telecomunicaciones, orientada para el protocolo de internet IP. A fines del año 2007 la compañía prestaba servicio a más de 2700 clientes.

La compañía continuó invirtiendo en infraestructura, convirtiéndose en un proveedor de comunicaciones reconocido a nivel mundial.

En el año 2005 LEVEL 3 adquiere la compañía WilTel. Durante el 2006, la compañía prosiguió con la adquisición de Progress Telecom, ICG, TelCove y Looking Glass Networks. En el año 2007, Level 3 adquirió Broadwing, el sector de servicios para la red de distribución de contenido (CDN) de SAVVIS y Servecast (level3, s.f.).

En el tercer trimestre del 2011, Level 3 y Global Crossing se unieron para construir una nueva red integrada que unificó la presencia de la empresa en Estados Unidos y Europa con la fuerte influencia que la red de Global Crossing ejercía.

En la actualidad, LEVEL 3 atiende a más de 450 mercados, tanto en América del Norte, América Latina, Asia y Europa. Posee una extensión total de 161.000 Km de fibra óptica.

3.7.2.19.2 Servicio satelital de LEVEL 3

Level 3 otorga soluciones VSAT para transmisión de datos a gran velocidad. En las instalaciones de la empresa en Quito se tiene el HUB, hacia donde los terminales VSAT transmitirán la información vía satélite y desde donde se

transmitirá la información de los terminales VSAT hacia el IG y el OVT por el mismo medio.

Se realizó una visita técnica a las instalaciones de LEVEL 3 en la ciudad de Quito con el fin de conocer el funcionamiento del HUB.

A continuación en la figura 85 se observan las fotografías de las instalaciones de LEVEL 3 en Quito.



Figura 85. Instalaciones de LEVEL 3 en la ciudad de Quito (HUB)

En la parte izquierda de la figura se observa dos antenas, la más grande corresponde al terminal que se comunica con el HUB de Colombia en banda C y la más pequeña es aquella que corresponde al terminal que se comunica con el HUB de Perú en banda Ku.

Ambos HUB's poseen características diferentes y trabajan con distintos satélites.

A continuación mediante la tabla 38 se detallan las características para ambos HUB's mencionados.

Tabla 38. HUB's de Colombia y Perú propiedad de LEVEL 3 Communications.
Level 3 Communications LLC, All rights reserved

HUB	BANDA	SATÉLITE	FEC	MODULACIÓN
Colombia	C	IS-14, transponer 4	3/4	QPSK
	Ku	AMC-4	3/4	QPSK
Perú	C	NSS10	2/3	8PSK

Se observa que el HUB de Colombia trabaja con el satélite INTELSAT IS-14, el que fue escogido para hacer el diseño de la red. El FEC y la técnica de modulación es propia de cada módem satelital, en este caso, Level 3 trabaja con iDirect para un FEC de 3/4 y técnica QPSK.

Si el caso fuera necesario, se podría variar la técnica de modulación y FEC para mejorar el valor de la relación E_b/N_0 de los enlaces. Para el propósito de este diseño, se mantienen los valores proporcionados por el HUB, debido a que los valores de E_b/N_0 obtenidos fueron óptimos para un enlace en banda C.

Los cálculos que se deben realizar para el HUB son similares a los mismos realizados para los nodos de la red VSAT. En el anexo 3 se detallan los cálculos para:

- Ángulos de elevación y azimut
- Distancia desde el HUB hacia el satélite
- Tiempo de retardo en transmisión y recepción

Después de establecer contacto con el personal de Level 3 para determinar las características de su HUB en Colombia, se determinaron los aspectos detallados a continuación en la tabla 39.

Tabla 39. HUB de LEVEL 3 ubicado en Quito con comunicación a Colombia

Coordenadas		Potencia de transmisión (Vatios)	Tamaño de la Antena (metros)	Ganancia (dB)
Latitud	Longitud	200	9	52
0°10'23,60"S	78°30'6"W			

3.7.2.19.3 Cálculo del PIRE para el HUB

$$\text{PIRE (HUB)} = 10 \log (\text{PTx}) + \text{GTx}$$

$$\text{PIRE (HUB)} = 10 \log (200) + 52 \text{ dBi}$$

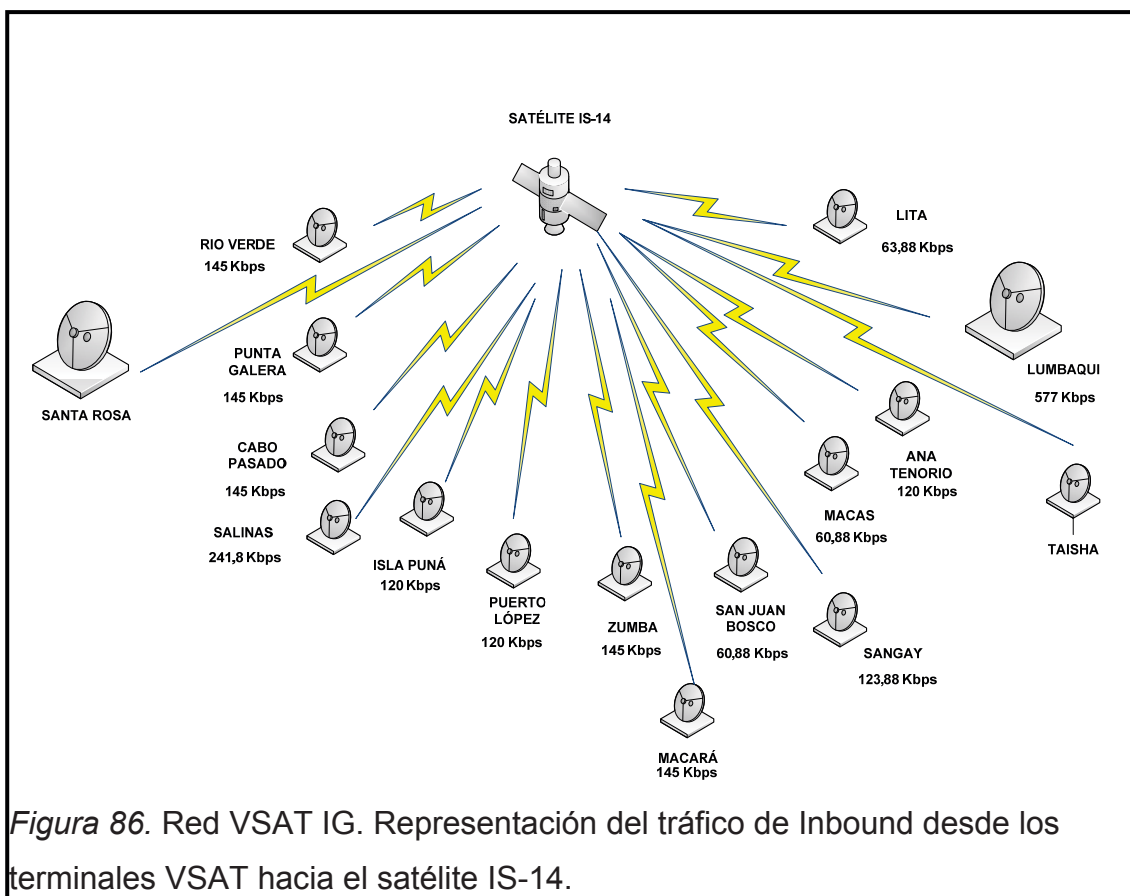
$$\text{PIRE (HUB)} = 75 \text{ dBi}$$

Como se observa, el valor del PIRE para el HUB es mayor que para los receptores VSAT, esto fue mencionado en el capítulo 1.

En el Anexo 3 se calculan ángulos de azimut, elevación y tiempo de retardo correspondientes al HUB.

Los demás cálculos con respecto al HUB son exclusivamente realizados por el proveedor, debido a que el dimensionamiento del mismo dependerá de cuantos clientes tiene y qué clase de servicio ofrecerá a sus abonados.

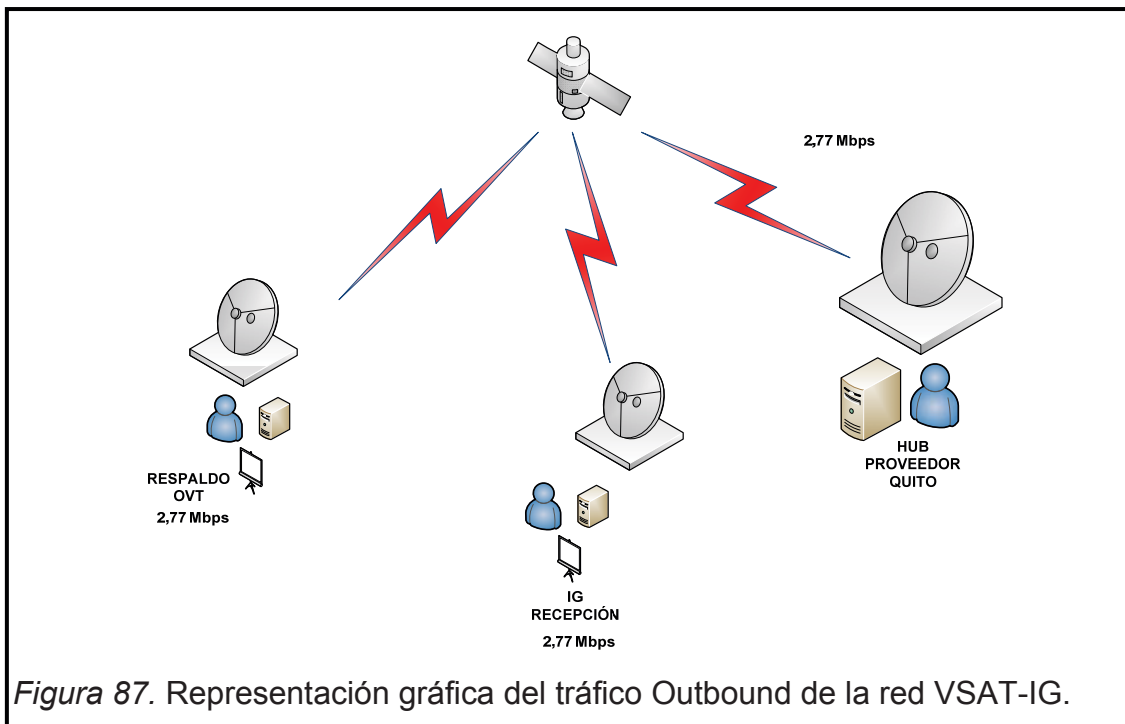
En las figuras 86 y 87 se realizan dos gráficos resumen para el tráfico de inbound y outbound respectivamente.



En el gráfico se observan dos antenas de mayor tamaño, una para Santa Rosa y otra para Lumbaqui, corresponden al modelo Prodeline 2150, con 2.4 metros de diámetro. El resto de los terminales VSAT tienen antenas de 1.8 metros de diámetro, modelo Prodeline 1184.

Para cada nodo se especifica el tráfico que envía desde el satélite. La suma del tráfico de todos los nodos es el Inbound, que en TDMA es igual que el Outbound.

En el siguiente gráfico se detalla el esquema para el tráfico en outbound, es decir desde el satélite hacia el HUB y desde el HUB hacia el IG y el OVT.



Se cumplió con la finalidad de este capítulo, el diseño de la red de monitoreo sísmico y volcánico con transmisión VSAT cumple con las expectativas; se obtuvo niveles óptimos para los enlaces desde cada estación terrena hacia el HUB y desde la estación maestra hacia las estaciones receptoras (Instituto Geofísico y Observatorio del Volcán Tungurahua).

CAPÍTULO IV

4. Análisis de costos

4.1 CAPEX

El CAPEX o también conocido como *Capital Expenditures* o gastos de capital, es definido como la cantidad de dinero gastado para adquirir o mejorar los activos productivos, con el propósito de aumentar la capacidad o eficiencia de un proyecto (enciclopediafinanciera, s.f.).

4.2 Cálculo del CAPEX para la red de monitoreo con transmisión VSAT

Para calcular el CAPEX de la red propuesta se deberán realizar los siguientes procedimientos:

4.2.1 Dividir a la infraestructura de tal manera que se generen 3 infraestructuras

Se debe dividir a la red en tres infraestructuras principales:

Infraestructura Global: Aquella que recolectará la información de toda la red. En este caso serán dos nodos:

- IG
- OVT

Infraestructura Parcial: Es aquella infraestructura compuesta por los nodos que sean repetidoras o concentradores de otras señales. En este caso:

- Lumbaqui
- Santa Rosa
- Salinas

Infraestructura Terminal: Son los demás terminales VSAT, que no son repetidores ni concentradores pero que generan tráfico.

En este caso serán los demás terminales VSAT.

4.2.2 Determinar la tasa para proyectos de las telecomunicaciones en el Ecuador.

La tasa de proyectos para Telecomunicaciones está calculada en base a cuatro parámetros principales:

- Tasa riesgo país (C)
- Interés por el cual se contrajo la deuda (I)
- Escudos fiscales (T)
- Market Premium (m)

La fórmula para calcularla es la expresada en la ecuación 62.

$$rwacc = \% (rf + Bxm + C) + \%D \times I \times (1 - T) \quad (\text{Ecuación 62})$$

El valor calculado para este caso fue de 24,73% se detalla en el Anexo 3 del presente documento.

4.2.3 Determinar el CAPEX global, parcial y terminal

El CAPEX para cada infraestructura deberá componerse de tres componentes:

- CAPEX de equipos
- CAPEX de costos eventuales
- CAPEX de costos recurrentes

4.2.3.1 CAPEX de equipos

Se requerirá calcular el CAPEX para los equipos que formarán parte de las tres infraestructuras y de los repuestos que se deberán comprar para todas ellas.

Los parámetros que deben tomarse en cuenta para este cálculo son:

- Costo libre de impuestos (FOB)
- Descuento
- Valor de internación
- Costo local
- Cantidad del producto
- Costo total

Para el caso de esta red, se obtuvo los siguientes valores detallados en la tabla 40.

Tabla 40. CAPEX de equipos para las infraestructuras global, parcial y terminal.

Infraestructura Global	Infraestructura Parcial	Infraestructura Terminal
CAPEX de equipos (USD)	CAPEX de equipos (USD)	CAPEX de equipos (USD)
21.869,00	42.807,50	402.356,00

4.2.3.2 CAPEX eventuales

Se definen como costos eventuales aquellos presentados una sola vez en el transcurso de la implementación de la red, como por ejemplo:

- Obras civiles.
- Compra de casetas metálicas donde se colocarán los equipos.
- Compra de terrenos.
- Instalación (viáticos del personal, movilización, etc.)

En la tabla 41 se despliegan los costos eventuales para las infraestructuras global, parcial y terminal de la red VSAT.

Tabla 41. CAPEX eventual para las infraestructuras global, parcial y terminal.

Infraestructura Global	Infraestructura Parcial	Infraestructura Terminal
CAPEX eventual (USD)	CAPEX eventual (USD)	CAPEX eventual (USD)
3.640,00	23.030,00	26.273,00

4.2.3.3 CAPEX recurrente

Se define al CAPEX recurrente como a los costos que se presentan cada año, de manera cíclica. Estos costos pueden ser:

- Pago al proveedor por el servicio otorgado
- Pago a la SENATEL por utilización de las frecuencias
- Alquiler o arrendamiento de terrenos o propiedades
- Pago por mantenimiento de la red

A continuación en la tabla 42 se detallan los costos para el CAPEX recurrente por cada infraestructura.

Tabla 42. Costos de CAPEX recurrente para cada infraestructura

Infraestructura Global	Infraestructura Parcial	Infraestructura Terminal
CAPEX recurrente (USD)	CAPEX recurrente (USD)	CAPEX recurrente (USD)
3.070,00	770,00	2.979,00

El detalle completo para los cálculos de los tres CAPEX se adjunta en el Anexo 3.

4.2.4 Mensualización

Se deberá realizar un resumen mensualizado de los costos para determinar la capacidad de la red de acuerdo al porcentaje de utilización.

Para realizar la mensualización de los CAPEX se deberá tomar en cuenta lo siguiente:

- Considerar la tasa anual para proyectos obtenida en el literal 4.2.2.
- Mensualizar la tasa (12 meses al año).
- Determinar el período de vida útil de cada infraestructura, en este caso será:
 - 5 años para las infraestructuras global y parcial
 - 3 años para la infraestructura terminal
- Se deberá Mensualizar el período de vida útil para cada infraestructura, es decir:
 - 5 años serán 60 meses
 - 3 años serán 36 meses

A continuación en la tabla 43 se detallan los costos mensualizados del CAPEX para cada infraestructura.

Tabla 43. CAPEX mensualizados

	Global (USD)	Parcial (USD)	Terminal (USD)
CAPEX	638,36	1.249,56	15.517,48
Costos eventuales	106,25	672,25	1.013,26
Costos Recurrentes	3.070,00	770,00	2.979,00

Los costos recurrentes no se mensualizan.

Una vez obtenido el valor mensual por cada CAPEX se debe determinar la capacidad de la red de acuerdo al porcentaje de utilización.

4.2.5 Determinación de la capacidad de la red según el porcentaje de utilización.

Para determinar este parámetro se debe realizar el siguiente procedimiento:

- Determinar el número de estaciones terminales de la red.
- Determinar los diferentes servicios de la red y el número de estaciones terminales por cada uno de ellos.
- Establecer el tiempo de funcionamiento si la red trabaja al 100%, es decir 24 horas.
- Establecer varios escenarios para comparar el porcentaje de operación de la red vs. el costo de cada infraestructura.
- Calcular el costo mensual por servicio para los diferentes escenarios.

4.2.5.1 Número de estaciones terminales y servicios ofrecidos

En total serán 13 nodos terminales que prestarán diferentes servicios, en este caso se hará referencia al tipo de monitoreo que realizará.

En la tabla 44 se describe el tipo de servicio y el número de nodos por cada uno de ellos.

Para este caso, los servicios serán el tipo de estaciones que permanecerán en funcionamiento.

Tabla 44. Detalle de los servicios y número de terminales por cada uno

SERVICIO	NÚMERO DE TERMINALES
Multiparamétrica	3
Sísmica	2
Sísmica-Acelerógrafo	2
Sísmica-Infrasonido	1
Sísmica-GPS	5

El término escenario hace referencia al porcentaje de tiempo que cada servicio estará funcionando. Para cada escenario habrá un número determinado de

estaciones en funcionamiento, y un valor determinado que representa mantener activos los nodos.

A continuación en la tabla 45 se detalla un resumen del costo mensual que se requiere para mantener funcionando un cierto porcentaje de cada servicio (Global+Parcial+Terminal). El procedimiento completo está adjuntado en el Anexo 3.

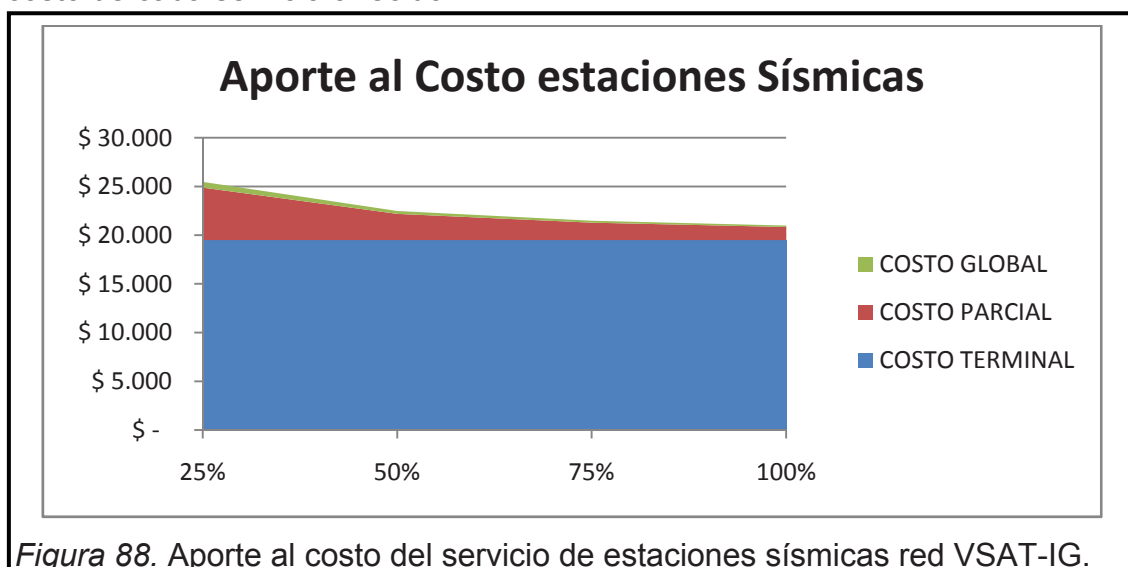
Tabla 45. Resumen de Costo/Mes/Servicio para cada escenario

Servicios	25%	50%	75%	100%
Multiparamétrica	\$23.491,0	\$21.501,0	\$20.837,0	\$20.505,0
Sísmica	\$25.481,0	\$22.496,0	\$21.501,0	\$21.003,0
Sísmica/Acelerógrafo	\$25.481,0	\$22.496,0	\$21.501,0	\$21.003,0
Sísmica/Infrasónico	\$31.451,0	\$25.481,0	\$23.491,0	\$22.496,0
Sísmica/GPS	\$21.899,0	\$20.704,0	\$20.306,0	\$20.107,0

De la tabla se puede interpretar que para un porcentaje de funcionamiento del 50% de infraestructura para el servicio Multiparamétrico se requiere una cantidad de 21.501,0 usd al mes.

Este costo contempla, movilizaciones para la instalación, obra civil, pago de viáticos para el personal del IG y está detallado en el Anexo3.

A continuación, mediante las figuras 88, 89, 90, 91 y 92 se detalla el aporte al costo de cada servicio ofrecido.



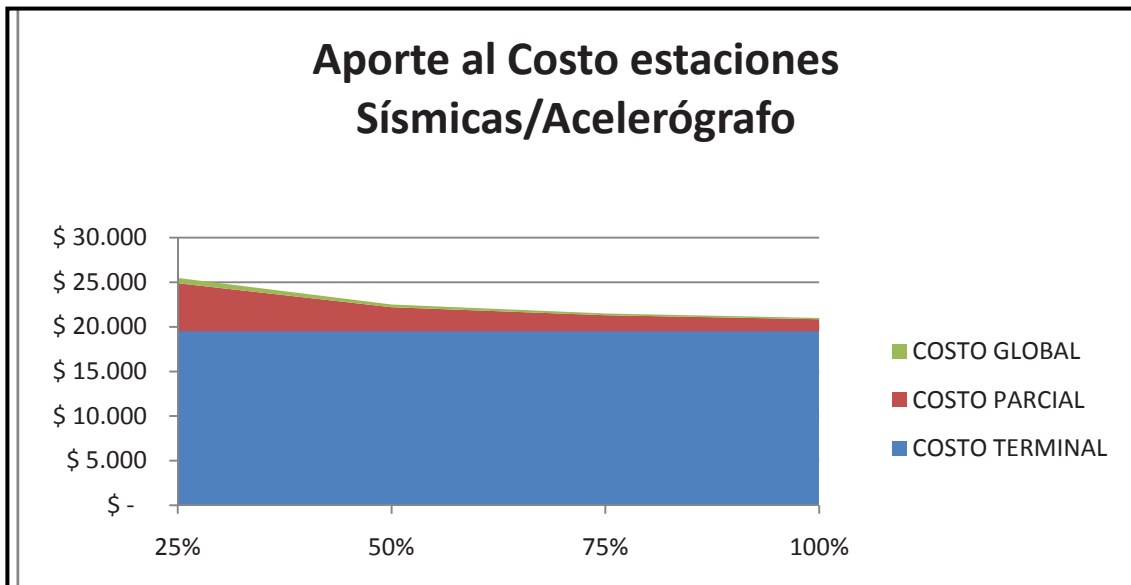


Figura 89. Aporte al costo del servicio de estaciones sísmicas/acelerógrafo red VSAT-IG.

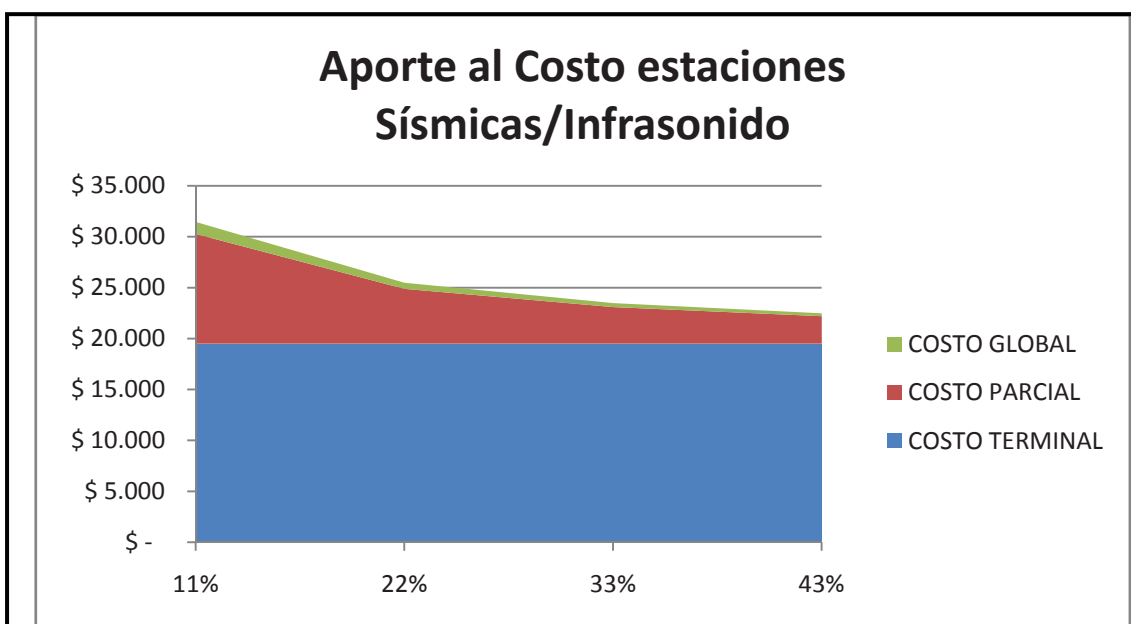


Figura 90. Aporte al costo del servicio de estaciones sísmicas/infrasonido red VSAT-IG.

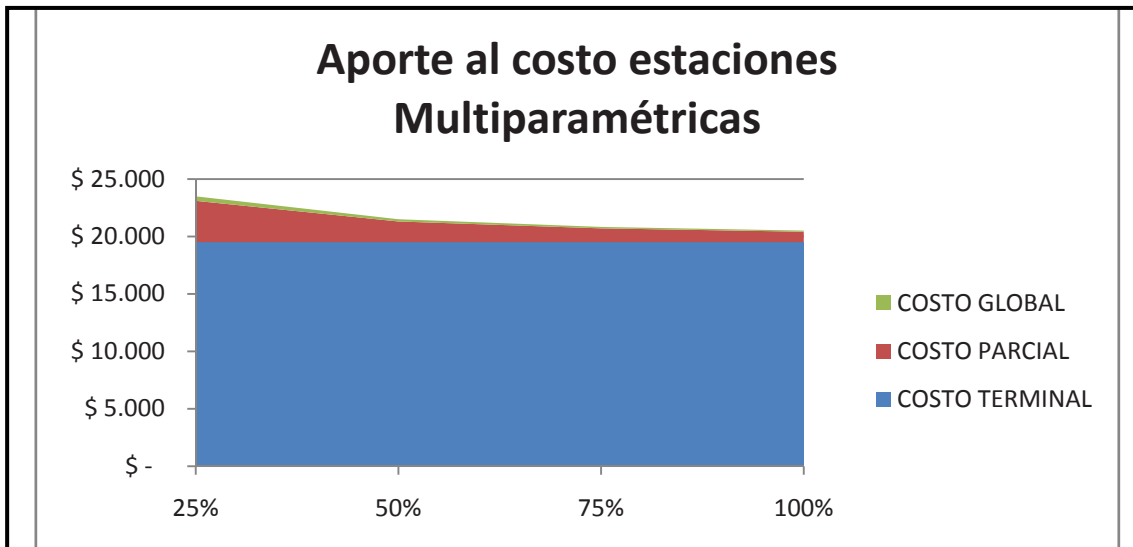


Figura 91. Aporte al costo del servicio de estaciones multiparamétricas red VSAT-IG.

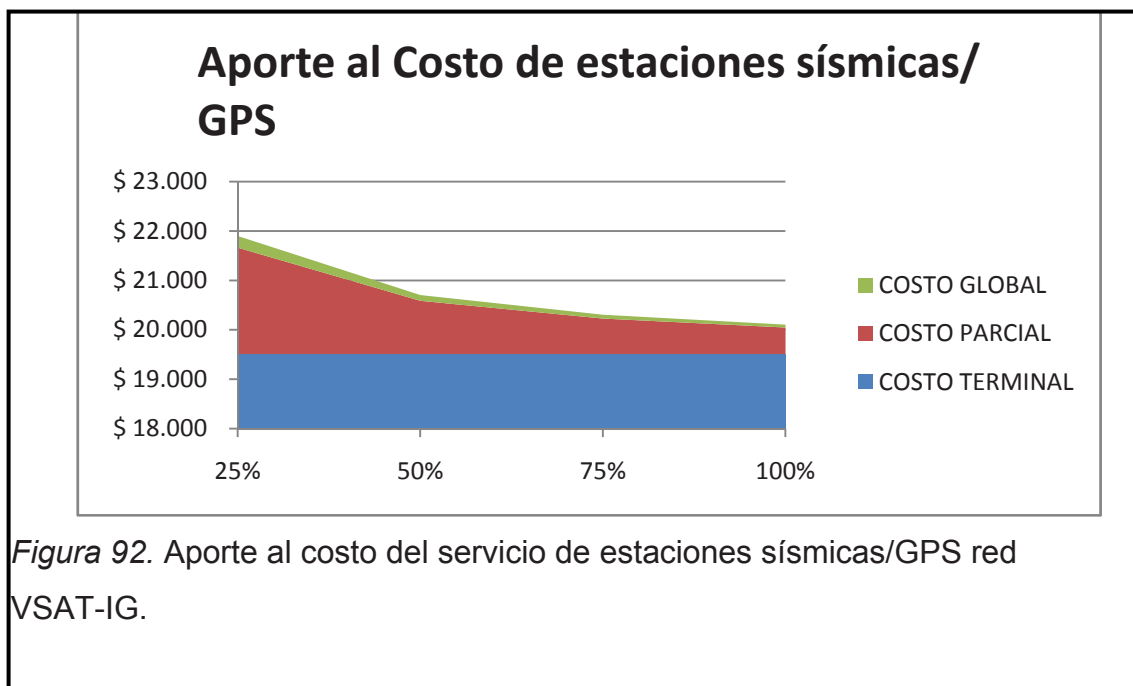


Figura 92. Aporte al costo del servicio de estaciones sísmicas/GPS red VSAT-IG.

Se puede observar que el costo de la infraestructura terminal es muy elevado debido a los altos valores de equipos utilizados para la monitorización.

El procedimiento realizado para calcular los costos mensuales, CAPEX e inversión necesaria para implementar la red de monitoreo sísmico y volcánico con transmisión VSAT para el Instituto Geofísico Nacional, se detalla en el Anexo 3.

CAPÍTULO V

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Luego de haber realizado el presente trabajo de titulación se concluye lo siguiente:

- Debido a la localización geográfica de los nodos pertenecientes a la red, la solución adecuada y efectiva para la transmisión de los datos es un sistema VSAT, a pesar de presentar retardos alrededor de 500 ms y altos costos de servicio, aproximadamente 1.000 USD al mes; es la mejor alternativa para comunicar sitios remotos con difícil acceso manteniendo buena calidad de enlace.
- La solución que ofrece iDirect para sistemas VSAT es amplia y combina tecnologías para optimizar ancho de banda y recursos, de esta manera se puede ajustar el nivel de Eb/No y conseguir el valor más pequeño de BER, alrededor de 10^{-8} .
- Dos son las principales desventajas que presentan las redes VSAT, una es el retardo producido por el doble salto de la comunicación entre estación y satélite y entre satélite y HUB. No obstante, su efecto se puede reducir gracias a la tecnología iDirect que permite controlar el Jitter y priorizar el tráfico. Otra desventaja presentada es el Sun Outage, este fenómeno es inevitable pero si predecible, INTELSAT provee herramientas para calcular el período de tiempo en que se presentará esta interrupción en transmisión, de esta manera se pueden utilizar los datos que provienen de estaciones pertenecientes a otras redes y en cierta forma interpretar los fenómenos naturales, sus causales y posibles efectos.

- El correcto funcionamiento de la red de monitoreo depende de varios factores fundamentales, tales como:
 - Buen funcionamiento de los equipos de monitorización:
 - Correcta programación de los digitalizadores y radios en los nodos concentradores.
 - Buen estado de los sensores, cables y conectores.
 - Disponibilidad del enlace satelital, es decir el proveedor del servicio debe garantizar el servicio permanente.
 - Buen estado de los equipos de transmisión: antena, BUC, LNB, módems, routers, cables y conectores.
- La técnica TDMA para acceder al satélite permite la optimización de la capacidad del transpondedor en un satélite debido a que una sola portadora estará disponible en intervalos de tiempo para cada estación perteneciente a la red; con esto se garantiza la ausencia de productos de intermodulación, los que producen pérdidas en el enlace desde una estación terrena hacia el satélite.
- Trabajar con INTELSAT representa obtener los estándares de calidad más elevados para un enlace VSAT, referidos a las relaciones G/T, PIRE, Eb/No y BER. La excelente cobertura de su flota de satélites permite que todo el planeta esté cubierto. La potencia PIRE cercana a los 50 dB, permite un nivel de C/N alrededor de 12 dB para cada portadora. Por otro lado, las normas IESS que la empresa exige para la implementación de estaciones terrenas garantiza que el equipamiento a utilizar sea el mejor y con esto permite conseguir un nivel de enlace o BER óptimo (10^{-8}).
- De acuerdo al análisis de costos realizado en el capítulo 4, resulta más económico mantener funcionando correctamente a toda la infraestructura que a un porcentaje de ésta debido a que todo el costo

de la infraestructura estará dividido para todo el número de servicios, en este caso estaciones que pertenecen a la misma.

- El costo mínimo bajo el escenario del 75% de utilización de la infraestructura es en promedio de 20000,00 mensuales por cada servicio.
- El beneficio social que generan los servicios de monitoreo sísmico y volcánico, compensa el costo de la inversión para este proyecto, ya que de esta manera se previenen desastres naturales en el momento de generar alertas tempranas.
- La mayor contribución al costo total de los servicios es aquel atribuido al costo terminal debido al valor elevado de los equipos para realizar la monitorización.

5.2 Recomendaciones

- Durante el proceso de cálculos para el balance del enlace se recomienda considerar las peores condiciones meteorológicas y las más críticas, de esta manera se garantiza que el sistema será capaz de funcionar en ambientes extremos.
- En el momento de diseño de la red se debe tener cuidado en respetar los estándares IESS establecidos por INTELSAT.
- Se recomienda para regiones lluviosas y tropicales trabajar en banda C, de esta manera se reduce el efecto de atenuaciones en el espacio libre alrededor de 12 dB con respecto a la banda Ku y de 10 dB por efectos de atenuación por lluvias. Además se economizará en equipamiento, ya que los equipos para banda Ku requieren mayor complejidad con el fin de contrarrestar la interferencia por lo que su precio es mayor.

- Las antenas parabólicas VSAT son muy directivas, en el momento de realizar la instalación es sumamente importante tener cuidado en el apuntamiento para los ángulos de elevación y azimut.
- El Instituto Geofísico Nacional es una entidad que pertenece al Estado, por lo que todo equipo adquirido tiene un custodio o persona responsable del bien. De acuerdo al análisis de CAPEX realizado en el capítulo 4 de este documento, el costo de equipos terminales es muy elevado, además, al ser bienes instalados en campo son susceptibles a daños frecuentes, pérdidas, y hurtos. No deberían ser bienes custodiados por una sola persona, sino por el Estado Ecuatoriano.

REFERENCIAS

- Blake, R. (2002). *Sistemas electrónicos*. (2ª.ed.). México D.F, México: Thomson.
- Carden, R., Jedlicka, R., Henry, R. (2002). *Telemetry systems engineering*. (1ª.ed.). Massachusetts, EUA: Artech House, Inc.
- Casado, M., Camazón, F. (2010). *Redes VSAT (Terminal de Apertura Muy Pequeña)*. Recuperado el 12 de agosto de 2013 de www.mecg.es/archivos/redesVSAT.pdf.
- Castro, L., Fusario, R. (1999). *Teleinformática para ingenieros en sistemas de información II*. (2ª.ed.). Barcelona, España: Reverté, S.A.
- Coimbra, E. (2010). *Órbitas satelitales*. Recuperado el 2 de Abril de 2013 de http://www.coimbraweb.com/documentos/radio/8.2_orbitas.pdf.
- Comunicacionesvsat. (s.f.). *Elementos de una red VSAT*. Recuperado el 19 de agosto de 2013 de <http://comunicacionesvsat.wordpress.com/2010/10/27/elementos-de-una-red-vsats/>.
- Desongles, J., (2005). *Ayudantes técnicos de informática*. (2ª.ed.). Sevilla, España: Mad, S.L.
- Enabierto, (s.f.). *¿Por qué se usa la banda C en zonas tropicales?* Recuperado el 22 de julio de 2013 de <http://www.enabierto.es/2012/04/por-que-se-usa-la-banda-c-en-los-paises.html>.
- Enciclopediafinanciera, (s.f.). *CAPEX*. Recuperado el 30 de septiembre de 2013 de <http://www.encyclopediainanciera.com/definicion-capex.html>.
- Fonda, C., Foster, J., Howard, I., Krag, T., Zennaro, M. (2007). *Redes inalámbricas en los países de desarrollo*. (2ª.ed.). Trieste, Italia: Limehouse Group Sprint Team.
- Gordillo, L. (1995). *Diseño de una red VSAT para conexión de sucursales interbancarias*. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Hernández, J. (1998). *Antenas: Principios básicos, análisis y diseño*. (1ª.ed.). Baja California, EUA: Universidad Autónoma de Baja California.

- Hernández, C., Corredor, O., Pedraza, L. (2010). *Metodología para el diseño de enlaces satelitales*. Recuperado el 16 de septiembre de 2013 de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-921X2010000100011&script=sci_arttext.
- Huidobro, J. (2007). *Sistemas telemáticos*. (1ª.ed.). Madrid, España: Paraninfo.
- INTELSAT. (s.f.). *Satellites and coverage maps*. Recuperado el 29 de junio de <http://www.intelsat.com/infrastructure/satellites-and-coverage-maps/>.
- INTELSAT. (s.f.). *Teleports*. Recuperado el 29 de junio de <http://www.intelsat.com/infrastructure/teleports/>.
- INTELSAT. (s.f.). *Sun interference calculator*. Recuperado el 30 de junio de 2013 de <http://www.intelsat.com/tools-resources/satellite-data-tools/sun-interference-calculator/>.
- LEVEL3. (s.f.). *Productos y servicios*. Recuperado el 2 de octubre de 2013 de <http://www.level3.com/es/products-and-services/>.
- Maral, G. (2003). *VSAT Networks*. (2ª.ed.). West Sussex, UK: John Wiley and Sons Ltd.
- Maral, G., Bousquet, M. (2009). *Satellite Communication Systems* (5ª.ed.). West Sussex, UK: John Wiley and Sons Ltd.
- Muñoz, D. (2002). *Sistemas inalámbricos de comunicación personal*. (1ª.ed.). Cuerna Vaca, México: Alfaomega, S.A.
- Neri, R. (2003). *Comunicaciones por satélite*. (1ª .ed.). México D.F, México.
- Recuero, L. (2010). *Acceso múltiple*. Recuperado el 21 de mayo de 2013 de http://www.mfbarcell.es/docencia_uned/redes/tema_10/redes_cap_10.pdf.
- Ruiz, F. (1996). *Antenas parabólicas*. (1ª.ed.). Barcelona, España: Ceac, S.A.
- Ruiz de Angulo, J. (1989). *Los satélites de comunicaciones*. (1ª.ed.). Barcelona, España: GERSA, Industria gráfica.
- Telecomhall. (s.f.). *¿Qué es Eb/No?* Recuperado el 10 de septiembre de 2013 de <http://www.telecomhall.com/es/que-es-ecio-y-ebno.aspx>.
- Tomasi, W. (2003). *Sistemas de comunicaciones electrónicas*. (4ª.ed.). Naulcapan de Juárez, México: Prentice Hall.

Tra. (s.f.). *VSAT technology*. Recuperado el 25 de abril de 2013 de http://www.tra.gov.eg/english/articles_articlesdetails.asp?PID=298&ID=19.

Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre. *Técnicas de modulación digital*. Recuperado el 7 de septiembre del 2013 de <http://unexpocom.files.wordpress.com/2010/03/tema-3-modulacion-digital.pptx>.

Universidad Politécnica de Valencia. *INTELSAT*. Recuperado el 10 de junio del 2013 de http://www.upv.es/satelite/trabajos/pract_8/intelsat/intro.htm.

Universidad Politécnica de Valencia. *Ventajas y desventajas de una red VSAT*. Recuperado el 5 de mayo de 2013 de www.upv.es/satelite/trabajos/pract_4/general/venta.htm.

Universidad Politécnica de Madrid. *Comunicaciones por satélite*. Recuperado el 15 de agosto de 2013 de <http://ocw.upm.es/teoria-de-la-senal-y-comunicaciones-1/radiocomunicacion/contenidos/presentaciones/satelites-07.pdf>.

Viasatelital. (s.f.). *VSAT (Very Small Aperture Terminals)*. Recuperado el 15 de junio de 2013 de <http://www.viasatelital.com/vsat.htm>.

ANEXOS

ANEXO 1
HOJAS TÉCNICAS DE EQUIPOS UTILIZADOS
PARA EL DISEÑO DE LA RED

The world's best-selling broadband seismometer, **Trillium Compact** is available in several configurations to best suit your deployment



Trillium COMPACT

Small, highly portable seismometers

Benefits

- > Low-noise broadband seismometer performance combined with the handling and installation convenience of a geophone
- > Ultra-low power consumption (160 mW) allows for smaller power systems and higher station reliability.
- > Exceptionally small size significantly reduces the time and effort required for site preparation and installation
- > Quick and easy to deploy with no mass lock, no mass centering and a wide tilt range
- > Integrated web server facilitates instrument management



1.8M C & Ku-Band Rx/Tx

Series 1183

Technical Specifications

Electrical		C-Band Linear	C-Band Circular	Ku-Band
Antenna Size		1.8 M (71 in.)	1.8 M (71 in.)	1.8 M (71 in.)
Operating Frequency (GHz)	Receive Transmit	3.625 - 4.20 GHz 5.85 - 6.425 GHz	3.625 - 4.20 GHz 5.85 - 6.425 GHz	10.95 - 12.75 GHz 14.00 - 14.50 GHz
Midband Gain (+/- .2dB)	Receive Transmit	35.50 dBi 39.50 dBi	35.50 dBi 39.50 dBi	45.00 dBi 46.50 dBi
Antenna Noise Temperature				
10° Elevation		56 K	30 K	44 K
20° Elevation		49 K	23 K	38 K
30° Elevation		47 K	21 K	35 K
40° Elevation		46 K	20 K	33 K
Sidelobe Envelope, Co-Pol				
Mainbeam $\theta < 7^\circ$		29 - 25 Log θ dBi	29 - 25 Log θ dBi	29 - 25 Log θ dBi
$7^\circ < \theta < 9.2^\circ$		+8 dBi	+8 dBi	+8 dBi
$9.2^\circ < \theta < 48^\circ$		32 - 25 Log θ dBi	32 - 25 Log θ dBi	32 - 25 Log θ dBi
$48^\circ < \theta < 180^\circ$		-10 dBi (averaged)	-10 dBi (averaged)	-10 dBi (averaged)
Cross-Polarization (Linear)		>30 dB on axis	N/A	>30 dB on axis
Axial Ratio (Circular)	Receive Transmit	N/A N/A	2.28 1.60	N/A N/A
VSWR		1.3:1 Max.	1.3:1 Max.	1.3:1 Max.
Feed Interface	Receive Transmit	CPR 229 F CPR 137 or Type N	CPR 229 F CPR 137 or Type N	Available in a variety of designs

Mechanical	
Reflector Material	Glass Fiber Reinforced Polyester SMC
Antenna Optics	Prime Focus, One-Piece Offset Feed
Mount Type	Elevation over Azimuth
Mast Pipe Size	3.5" SCH 40 Pipe (4.00" OD) 10.16 cm.
Elevation Adjustment Range	5° to 90°, Continuous Fine Adjustment
Azimuth Adjustment Range	360° Continuous
Shipping Specifications	C-Band: 175 lbs Ku-Band: 160 lbs

Environmental Performance		
Wind Loading	Operational Survival	45 mph (72 km/h) 125 mph (201 km/h)
Temperature	Operational Survival	-40° to 140° F (-40° to 60° C) -50° to 160° F (-46° to 71° C)
Rain	Operational Survival	1/2"/hr 2"/hr
Ice	Operational Survival	----- 1/2" radial
Atmospheric Conditions		Salt, Pollutants and Contaminants as Encountered in Coastal and Industrial Areas
Solar Radiation		360 BTU/h/ft ²

GENERAL DYNAMICS SATCOM Technologies

1500 Prodelin Drive • Newton, NC 28658 USA • Telephone: +1-828-464-4141 • Fax: +1-828-464-4147
Email: vsat@gdsatcom.com • Web Site: www.gdsatcom.com

1000-013 Rev. 05/11

© 2011 General Dynamics. All rights reserved. General Dynamics reserves the right to make changes in its products and specifications at anytime and without notice. All trademarks indicated as such herein are trademarks of General Dynamics. All other product and service names are the property of their respective owners. ® Reg. U.S. Pat. and Tm. Off.



Trillium

COMPACT

Class-leading performance

Trillium Compact is extremely simple to deploy with no mass lock and no mass centering required. The exceptionally small size significantly reduces the time and effort required for site preparation and installation. Continuous quality data are available within minutes of deployment with no requirement for further intervention.



- < The Trillium Compact 20s features the same force feedback sensor design with a response flat to velocity from 20 seconds to 100Hz. The 20s instrument features an industry-leading tilt tolerance of 10°, making deployments very fast and efficient in various surface conditions. Several base foot options are available for different terrains.



TRILLIUM COMPACT

Diameter	90 mm (3.54")
Height	100 mm (3.93") – body only
Immersion Rating	IP67



Versatility: Trillium Compact is available in several variants to facilitate vault, surface or buried downhole deployments.



◀ **Trillium Compact 120s** combines the superior performance of a broadband seismometer with the installation convenience of a rugged geophone. The 120s instrument incorporates a symmetric triaxial force feedback sensor design with a response flat to velocity from 120 seconds to 100Hz.

Available in both 120s and 20s variants, the ▶ **Trillium Compact Downhole** features a stainless steel enclosure and waterproof connector ideally suited for downhole deployments of 30 meters or more.

TRILLIUM COMPACT DOWNHOLE	
Diameter	97 mm (3.90")
Height	118 mm (4.65") - body only
Immersion Rating	IP68

◀ **Optional transport case** doubles as thermal insulating cover for surface deployments





Trillium COMPACT

SPECIFICATIONS

Specifications subject to change without notice.

TECHNOLOGY

Topology	Symmetric triaxial
Feedback	Force balance with capacitive transducer
Mass Centering	Not required

PERFORMANCE

Sensitivity	750 or 1500 V-s/m nominal $\pm 0.5\%$ precision
Off-axis Sensitivity	$\pm 0.5\%$
Bandwidth - 120 s	-3 dB points at 120 s and 100 Hz
Bandwidth - 20 s	-3 dB points at 20 s and 100 Hz
Transfer Function	Lower corner poles within $\pm 1\%$ of nominal provided High-frequency poles within $\pm 5\%$ of nominal provided No peak in response at high frequency
Clip Level	26 mm/s from 0.1 Hz to 10 Hz
Oper. Tilt Range - 120 s	$\pm 2.5^\circ$
Oper. Tilt Range - 20 s	$\pm 10^\circ$
Parasitic Resonances	None below 200 Hz

INTERFACE

Connector - Surface	14-pin, shell size 12, MIL-C-26482 Series I, top mounted
Connector - Downhole	16-pin, underwater SubConn MCBH16MSS, top mounted
Velocity Output	20 or 40V peak-to-peak differential Selectable XYZ or UVW mode
Mass Position Output	Single voltage output representing max. mass position 3-channel mass positions available through serial port
Calibration Input	Single voltage input and one active high control signal to enable all 3 channels Remote calibration in XYZ or UVW mode Independent channel selection by serial port

DIGITAL COMMAND & CONTROL INTERFACE

Digital Interface	RS-232 compatible serial IP (SLIP) Onboard web server standard HTTP
Digital Commands	XYZ, UVW mode switching Calibration channel selection (off, enable all, u, v, or w) Short/long period mode Firmware updates State-of-health request
Digital Data Outputs	Independent mass position values Instrument temperature Factory sensitivity User calibration data (poles and zeros) Instrument serial number and firmware revision

PHYSICAL

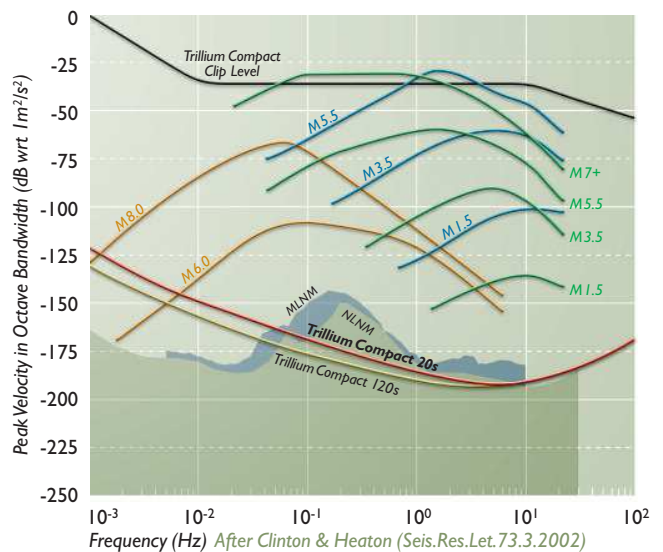
Housing	Surface resistant to corrosion, scratches and chips
Alignment	Vertical scribe marks for N/S Precision N/S-E/W guide in top of cover for straight-edge, line or laser level

POWER

Supply Voltage	9 to 36V DC isolated inputs
Power Consumption	< 160 mW typical
Protection	Reverse-voltage and over-voltage protected Self-resetting over-current protection revision

ENVIRONMENTAL

Operating Temp.	-40 to +60°C
Storage Temp.	-65 to +75°C
Shock	100 g half sine, 5 ms without damage, 6 axes No mass lock required for transport
Magnetic	Insensitive to natural variations of the earth's magnetic field



The Earthquake Spectrum

- Local events ~10 km Several seconds to 30 Hz
- Regional ~100 km 30 seconds to 10 Hz
- Teleseismic ~3000 km 3600 seconds to 2 seconds

Note: Sensor noise floors and earth noise models have been converted to equivalent peak amplitudes using a full octave bandwidth assuming Gaussian distribution and 95% probability.



LNB

C-BAND PLL

3000

HIGH STABILITY



TYPICAL SPECIFICATIONS

Noise temperature	20K to 30K depending on model number
L.O. stability (over temperature excl offset)	±2 kHz to ±25 kHz depending on model number
Phase noise (SSB)	-80 dBc/Hz at 1kHz -85 dBc/Hz at 10kHz -95 dBc/Hz at 100kHz
Input VSWR	2.2 : 1
Output VSWR	2.2 : 1

Conversion gain	62 dB
Output P1dB	9 dBm
Power requirements	+12 to +24 V supplied through center conductor of IF cable
Current drain	250 mA
Input Waveguide	CPR229G
Dimensions	144 (L) x 70 (W) x 98 (H) mm (5.7 x 2.8 x 3.9 in)
Weight	500 g / 17.6 oz
Temperature Range	-40°C to +60°C
Relative Humidity	0 - 100% condensing

FREQUENCY BANDS AVAILABLE

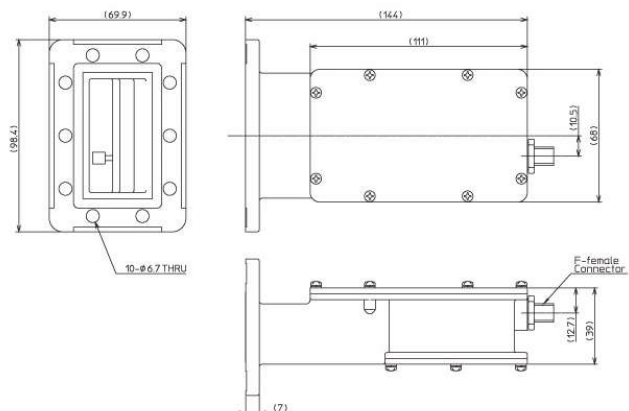
Input frequency (GHz)	3.40 to 4.20
L.O. frequency (GHz)	5.15
Output frequency (MHz)	950 to 1750

HOW TO ORDER

3120N

CONNECTOR	F - 75 Ohm N - 50 Ohm
NOISE TEMPERATURE	20 - 20 K 25 - 25 K 30 - 30 K
PART #	L.O. STABILITY
34XX	0.4 ppm - ±2 kHz
36XX	0.6 ppm - ±3 kHz
38XX	0.8 ppm - ±4 kHz
31XX	1.0 ppm - ±5 kHz
32XX	2.0 ppm - ±10 kHz
35XX	5.0 ppm - ±25 kHz
LNB SERIES #	

MECHANICAL DIAGRAM



2.4M C & Ku-Band Antenna

Series 1251

Technical Specifications

Electrical		C-Band Linear	C-Band Circular	Ku-Band
Antenna Size		2.4 M (96 in.)	2.4 M (96 in.)	2.4 M (96 in.)
Operating Frequency (GHz)	Receive	3.625 - 4.20 GHz	3.625 - 4.20 GHz	10.95 - 12.75 GHz
	Transmit	5.850 - 6.425 GHz	5.850 - 6.425 GHz	13.75 - 14.50 GHz
Midband Gain (+/- .2 dB)	Receive	38.00 dBi	38.00 dBi	47.60 dBi
	Transmit	42.00 dBi	42.00 dBi	49.20 dBi
Antenna Noise Temperature				
10° Elevation		52 K	30 K	42 K
20° Elevation		46 K	23 K	32 K
30° Elevation		45 K	20 K	28 K
40° Elevation		44 K	19 K	27 K
Sidelobe Envelope, Co-Pol (dBi)				
100λ / D ≤ θ ≤ 20°		29 - 25 Logθ dBi	29 - 25 Logθ dBi	29 - 25 Logθ dBi
20° < θ ≤ 26.3°		-3.5 dBi	-3.5 dBi	-3.5 dBi
26.3° < θ ≤ 48°		32 - 25 Logθ dBi	32 - 25 Logθ dBi	32 - 25 Logθ dBi
48° < θ		-10 dBi (averaged)	-10 dBi (averaged)	-10 dBi (averaged)
Cross-Pol Isolation (Linear)		>30 dB on axis	N/A	>30 dB on axis
Axial Ratio (Circular)	Receive	N/A	2.28	N/A
	Transmit	N/A	1.94	N/A
VSWR		1.3:1 Max.	1.3:1 Max.	1.3:1 Max.
Feed Interface	Receive	CPR 229 F	CPR 229 F	WR 75
	Transmit	CPR 137 or Type N	CPR 137 or Type N	WR 75 or Direct Radio Mounting

Mechanical	
Reflector Material	Glass Fiber Reinforced Polyester SMC
Antenna Optics	Prime Focus, Offset Feed, Two-Piece Divided Along Major Axis
Mast Pipe Size	6" SCH 40 Pipe (6.63" OD) 16.83 cm.
Elevation Adjustment Range	5° to 90°, Continuous Fine Adjustment
Azimuth Adjustment Range	+/- 45° Fine Adjustment, 360° Continuous
Mount Type	Elevation over Azimuth
Shipping Specifications	Net Weight: 545 lbs. (248 kg.) Packaged Weight: 885 lbs. (402 kg.)

Environmental Performance		
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)
Rain	Operational	1/2"/hr
	Survival	2"/hr
Ice	Operational	-----
	Survival	1/2" radial
Atmospheric Conditions		Salt, Pollutants and Contaminants as Encountered in Coastal and Industrial Areas
Solar Radiation		360 BTU/h/ft2

GENERAL DYNAMICS
SATCOM Technologies

BUY NOW

1000-035 Rev. 05/11

Type Approval CertificateC-Band **Antenna**

Prodelin Corporation, the manufacturer of the antenna identified as 1184-281, 283, 425, 480, has submitted test data which demonstrates that the said antenna when operating in the environmental conditions set forth in its Type Approval Particulars, meets the applicable technical requirements for use with the INTELSAT Satellite System, as issued by INTELSAT in the document entitled IESS 207.

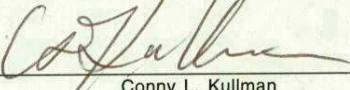
Prodelin Corporation has certified that all other units of the same type will meet all technical requirements in a similar manner to the unit subjected to test and that the tests have been conducted in accordance with procedures approved by INTELSAT. The full technical details of the 1184-281, 283, 425, 480 antenna are documented in its formal Type Approval Particulars.

The following is basic information on the 1184-281, 283, 425, 480 antenna, as approved by INTELSAT:

INTELSAT Type Approval ID:	<u>IA010C00</u>
INTELSAT Earth Station Standard:	<u>H2 & G</u>
Approval Category:	<u>Antenna</u> (Antenna; Antenna System; Earth Station)
Antenna Manufacturer:	<u>Prodelin Corporation</u>
Manufacturer Model No.:	<u>1184-281, 283, 425, 480</u>
Feed Manufacturer:	<u>Prodelin Corporation</u>
Feed Manufacturer Model No.:	<u>183-412, 413, 414, 415</u>
LNA Manufacturer:	<u>N/A</u>
LNA Manufacturer Model No.:	<u>N/A</u>
HPA Manufacturer:	<u>N/A</u>
HPA Manufacturer Model No.:	<u>N/A</u>

INTELSAT

By:


Conny L. Kullman
Vice President, Operations & Engineering

Type Approval Date: 27 September 1993

This certificate does not authorize the operation of the earth station in the INTELSAT satellite system and is intended only as a formal notification to the manufacturer that INTELSAT has determined, on the basis of data submitted by the manufacturer, that earth stations of the type identified herein meet the standards for use with the INTELSAT Satellite System.



3400 International Drive NW Washington, DC 20008-3098 USA
Telephone: +1 202-944-7500 • Facsimile: +1 202-944-7890

Certificate No. 002-031/8/97

Type Approval Certificate

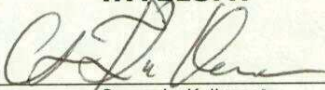
C-Band Antenna

Prodelin Corporation, the manufacturer of the antenna identified as 1244-xxx, has submitted test data which demonstrates that the said antenna model, when operating in the environmental conditions set forth in its Type Approval Particulars, meets the applicable technical requirements for use with the INTELSAT Satellite System, as issued by INTELSAT in the document entitled IESS 207.

Prodelin Corporation has certified that all other units of the same type will meet all technical requirements in a similar manner to the unit subjected to test and that the tests have been conducted in accordance with procedures approved by INTELSAT. The full technical details of the 1244-xxx antenna are documented in its formal Type Approval Particulars.

The following is basic information on the 1244-xxx antenna, as approved by INTELSAT:

INTELSAT Type Approval ID:	<u>IA042A00</u>
INTELSAT Earth Station Standard:	<u>H3 and G</u>
Approval Category:	<u>Antenna</u> (Antenna; Antenna System; Earth Station)
Antenna Manufacturer:	<u>Prodelin Corporation</u>
Manufacturer Model No.:	<u>1244-xxx</u>
Feed Manufacturer:	<u>Prodelin Corporation</u>
Feed Manufacturer Model No.:	<u>Included in Antenna Model No.</u>
LNB Manufacturer:	<u>N/A</u>
LNB Manufacturer Model No.:	<u>N/A</u>
HPA Manufacturer:	<u>N/A</u>
HPA Manufacturer Model No.:	<u>N/A</u>

By: 
Conny L. Kullman
Vice President, Operations

Type Approval Date: 17 July 1997



This certificate does not authorize the operation of the earth station in the INTELSAT satellite system and is intended only as a formal notification to the manufacturer that INTELSAT has determined, on the basis of data submitted by the manufacturer, that earth stations of the type identified herein meet the standards for use with the INTELSAT Satellite System.



3400 International Drive NW Washington, DC 20008-3098 USA
Telephone: +1 202-944-7500 • Facsimile: +1 202-944-7890

Certificate No. 002-039/11/97

Type Approval Certificate

C-Band Antenna

Prodelin Corporation, the manufacturer of the antenna identified as 1251-xxx, 1255-xxx, 1257-xxx, has submitted test data which demonstrates that the said antenna when operating in the environmental conditions set forth in its Type Approval Particulars, meets the applicable technical requirements for use with the INTELSAT Satellite System, as issued by INTELSAT in the document entitled IESS 207.

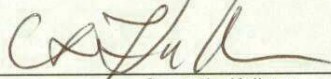
Prodelin Corporation has certified that all other units of the same type will meet all technical requirements in a similar manner to the unit subjected to test and that the tests have been conducted in accordance with procedures approved by INTELSAT. The full technical details of the 1251-xxx, 1255-xxx, 1257-xxx antenna are documented in its formal Type Approval Particulars.

The following is basic information on the 1251-xxx, 1255-xxx, 1257-xxx antenna, as approved by INTELSAT:

INTELSAT Type Approval ID:	<u>IA022A00</u>
INTELSAT Earth Station Standard:	<u>G, H3</u>
Approval Category:	<u>Antenna</u> (Antenna; Antenna System; Earth Station)
Antenna Manufacturer:	<u>Prodelin Corporation</u>
Manufacturer Model No.:	<u>1251-xxx, 1255-xxx, 1257-xxx</u>
Feed Manufacturer:	<u>Prodelin Corporation</u>
Feed Manufacturer Model No.:	<u>183-412, 413, 414, 415, 417, 418</u>
LNA Manufacturer:	<u>N/A</u>
LNA Manufacturer Model No.:	<u>N/A</u>
HPA Manufacturer:	<u>N/A</u>
HPA Manufacturer Model No.:	<u>N/A</u>

INTELSAT

By:



Conny L. Kullman
Vice President, Operations & Engineering

Type Approval Date:

9 December 1994



This certificate does not authorize the operation of the earth station in the INTELSAT satellite system and is intended only as a formal notification to the manufacturer that INTELSAT has determined, on the basis of data submitted by the manufacturer, that earth stations of the type identified herein meet the standards for use with the INTELSAT Satellite System.



3400 International Drive NW Washington, DC 20008-3098 USA
Telephone: +1 202-944-7500 • Facsimile: +1 202-944-7890

Type Approval Certificate

C-Band Antenna

Prodelin Corporation, the manufacturer of the antenna identified as **1245-281, 1545-283, 1246-420, 1246-480**, has submitted test data which demonstrates that the said antenna when operating in the environmental conditions set forth in its Type Approval Particulars, meets the applicable technical requirements for use with the INTELSAT Satellite System, as issued by INTELSAT in the document entitled **IESS 207**.

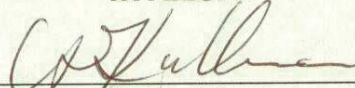
Prodelin Corporation has certified that all other units of the same type will meet all technical requirements in a similar manner to the unit subjected to test and that the tests have been conducted in accordance with procedures approved by INTELSAT. The full technical details of the **1245-281, 1545-283, 1246-420, 1246-480** antenna are documented in its formal Type Approval Particulars.

The following is basic information on the **1245-281, 1545-283, 1246-420, 1246-480** antenna, as approved by INTELSAT:

INTELSAT Type Approval ID:	<u>IA011C00</u>
INTELSAT Earth Station Standard:	<u>H3 & G</u>
Approval Category:	<u>Antenna</u> (Antenna; Antenna System; Earth Station)
Antenna Manufacturer:	<u>Prodelin Corporation</u>
Manufacturer Model No.:	<u>1245-281, 1545-283, 1246-420, 1246-480</u>
Feed Manufacturer:	<u>Prodelin Corporation</u>
Feed Manufacturer Model No.:	<u>183-412, 413, 414, 415</u>
LNA Manufacturer:	<u>N/A</u>
LNA Manufacturer Model No.:	<u>N/A</u>
HPA Manufacturer:	<u>N/A</u>
HPA Manufacturer Model No.:	<u>N/A</u>

INTELSAT

By:


Conny L. Kullman
Vice President, Operations & Engineering

Type Approval Date:

27 September 1993



This certificate does not authorize the operation of the earth station in the INTELSAT satellite system and is intended only as a formal notification to the manufacturer that INTELSAT has determined, on the basis of data submitted by the manufacturer, that earth stations of the type identified herein meet the standards for use with the INTELSAT Satellite System.



INTELSAT

3400 International Drive NW Washington, DC 20008-3098 USA
Telephone: +1 202-944-7500 • Facsimile: +1 202-944-7890



Ethernet Series

FGR2 Ethernet 900 MHz Industrial Radio



FGR2-P



FGR2-PE

OVERVIEW

The FGR2-PE and FGR2-P offer Ethernet and serial data communications using 900MHz license-free spectrum for reliable connectivity in RF harsh environments and over long data links. Both FGR2 Ethernet radios offer two 10/100 Ethernet ports as well as two serial ports, and industrial grade AES encryption to meet the demands of wireless automation. This future-proof combination of serial and switched Ethernet ports are fully compatible with the FGRplus family of radios and allow for the transition from serial to Ethernet communications without having to replace existing wireless communication infrastructure. The flexibility and cost effectiveness of the FGR2 Ethernet line also reduces the need for additional radio inventory since all radio can be programmed to operate as Gateways, Repeaters and End Devices.

All radios are designed, manufactured, and tested in Boulder, Colorado.

MODEL	DIMENSIONS	PRODUCT OPTIONS
FGR2-PE	6.8 L x 3.8 W x 1.4 H (in)	Enclosed
FGR2-P	7 L x 3.25 W x 1.25 H (in)	Board Level

APPLICATIONS



Oil & Gas



Smart Grid



Water & Wastewater



Precision Agriculture

KEY FEATURES

- **Outstanding RF Performance:** Maintains high receiver sensitivity and noise immunity even in harsh RF conditions
- **High Speed:** Up to 154 Kbps over-the-air throughput
- **Secure:** Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) technology and AES encryption prevent unauthorized access
- **Synthesized Waveform Transmit Data:** Reduces out of band modulation products
- **Error Free Communications:** 32 bit CRC with automatic retransmission
- **Versatile:** Can operate as a Gateway, a Repeater or as an End Device
- **Backward Compatible:** 100% compatible with all existing 900 MHz FreeWave FGRplus radios
- **Input Voltage Range:** +6 to +30 VDC
- **UL Approved:** Class 1 Division 2
- **Industrial Grade:** 100% tested for RF performance from -40° C to +75° C

FGR2-P & FGR2-PE - Ethernet Radio Technical Specifications

		FGR2-P	FGR2-PE		
TRANSMITTER	Frequency Range	902 to 928 MHz			
	Output Power	5 mW to 1 Watt			
	Data Link Range	60 miles, Clear Line of Sight			
	Modulation	2 level GFSK			
	RF Data Rate	115.2 kbps Standard Speed, 153.6 kbps High Speed			
	Occupied Bandwidth	230.4 kHz			
	Hopping Patterns	15 per Band, 105 total, user selectable			
	Hopping Channels	112			
	Frequency Zones	16 Zones, 7-8 Channels per zone			
RECEIVER	Sensitivity	-108 dBm, at Standard Speed, 1×10^{-4} BER -104 dBm, High Speed, 1×10^{-4} BER			
	IF Selectivity	20 dB at $f_c \pm 230$ kHz			
DATA TRANSMISSION	Error Detection	32 bit CRC, Retransmit on error			
	Data Security	AES 128 bit encryption and FHSS Technology			
	Data Throughput	80 kbps Standard Speed, 115.2 kbps High Speed			
	Serial Data Interface	RS232/RS422/RS485, Programmable 2x RJ-45 Connector			
	Ethernet Data Interface	802.3, TCP, UDP, DHCP, ICMP, ARP, Multicast, TFTP, DNP3 over TCP 2x RJ-45, 10/100 Base T, Auto Crossover			
DIAGNOSTICS	Connector	3-pin			
POWER REQUIREMENTS	Operating Voltage	+6 to +30 VDC			
	Typical Current	Mode	+6 VDC	+12 VDC	+30 VDC
		Transmit	1.1 A	550 mA	220 mA
		Receive	252 mA	150 mA	63 mA
		Idle	140 mA	71 mA	32 mA
GENERAL INFORMATION	Operating Temperature	-40° C to +75° C (-40° F to +167° F)			
	Humidity	0 to 95%, non-condensing			
	Dimensions	7 L x 3.25 W x 1.25 H (in)	6.8 L x 3.8 W x 1.4 H (in)		
	Weight	0.5 lbs / 215 g	1.3 lbs / 608 g		
	RF Connector	SMA, Female	TNC, Female		
	Certifications	FCC Part 15.247 / IC RSS-210 / UL Class 1, Division 2			



FreeWave Radios Require Professional Installation. Specifications may change at any time without notice. ©2013 FreeWave Technologies, Inc.

5395 Pearl Parkway, Boulder, CO 80301

TF 866.923.6168

T 303.381.9200

sales@freewave.com



CMG-5TD Digital Accelerometer

Operator's Guide

Document No. MAN-050-0005

Designed and manufactured by
Güralp Systems Limited
3 Midas House, Calleva Park
Aldermaston RG7 8EA
England

Proprietary Notice: The information in this document is proprietary to Güralp Systems Limited and may be copied or distributed for educational and academic purposes but may not be used commercially without permission.

Whilst every effort is made to ensure the accuracy, completeness or usefulness of the information in the document, neither Güralp Systems Limited nor any employee assumes responsibility or is liable for for any incidental or consequential damages resulting from the use of this document.

Issue D

April 2013

Table of Contents

1 Preliminary Notes	4
1.1 Proprietary Notice.....	4
1.2 Warnings, Cautions and Notes.....	4
1.3 Manuals and Software.....	4
1.4 Conventions.....	4
2 Introduction	5
3 Quick start	6
3.1 Unpacking and packing.....	6
3.2 Initial check-out.....	7
4 Setting the gain	10
4.1 Disassembly.....	10
4.2 Jumper configuration for low gain operation.....	11
4.3 Jumper configuration for high gain operation.....	12
4.4 Reassembly.....	12
5 Operation	13
5.1 Installation overview.....	13
5.2 Installation method.....	13
5.3 Installation in hazardous environments.....	14
5.4 Orientation.....	14
5.5 Levelling.....	14
5.6 Power supply considerations.....	14
5.7 Connections.....	14
5.8 Offset adjustment.....	15
5.9 Configuration and control using Scream.....	16
5.9.1 System ID.....	17
5.9.2 Output control.....	17
5.9.3 Triggering.....	20
5.9.4 Baud rates.....	23
5.9.5 Data flow.....	23
5.9.6 Buffer Memory Usage.....	28
6 Calibration	29
6.1 The calibration pack.....	29
6.1.1 Poles and zeroes.....	29
6.1.2 Frequency response curves.....	30

6.1.3 Obtaining copies of the calibration pack..... **31**

6.2 Calibration methods..... **32**

6.3 Calibration with Scream! **32**

 6.3.1 Sensor response codes..... **36**

7 Connector pin-outs..... 37

 7.1 DATA..... **37**

 7.2 GPS..... **38**

 7.3 Analogue connector..... **39**

8 Specifications..... 40

9 Revision History..... 41

1 Preliminary Notes

1.1 Proprietary Notice

The information in this document is proprietary to Güralp Systems Limited and may be copied or distributed for educational and academic purposes but may not be used commercially without permission.

Whilst every effort is made to ensure the accuracy, completeness and usefulness of the information in the document, neither Güralp Systems Limited nor any employee assumes responsibility or is liable for for any incidental or consequential damages resulting from the use of this document.

1.2 Warnings, Cautions and Notes

Warnings, cautions and notes are displayed and defined as follows:



Warning: A black cross indicates a chance of injury or death if the warning is not heeded.



Caution: A yellow triangle indicates a chance of damage to or failure of the equipment if the caution is not heeded.



Note: A blue circle indicates indicates a procedural or advisory note.

1.3 Manuals and Software

All manuals and software referred to in this document are available from the Güralp Systems website, www.guralp.com, unless otherwise stated.

1.4 Conventions

Throughout this manual, examples are given of command-line interactions. In these examples, a fixed-width typeface will be used:

`Example of the fixed-width typeface used.`

Commands that you are required to type will be shown in bold:

Example of the fixed-width, bold typeface.

Where data that you type may vary depending on your individual configuration, such as parameters to commands, these data are additionally shown in italics:

Example of the fixed-width, bold, italic typeface.

Putting these together into a single example:

System prompt: **user input with variable parameters**

2 Introduction

The CMG-5TD consists of a fully-integrated triaxial accelerometer (CMG-5T) and a matched 24-bit digitizer (DM-24) contained in a single, watertight package. It is compact, lightweight, and simple to deploy. It can resolve the full range of acceleration due to microearthquakes (0.1 μg resolution) up to strong local earthquakes (4 g resolution).



It is provided with a combination baseplate/mounting plate, which is separable and re-attachable, allowing for quick installation/removal and sensor site re-occupation if necessary. The DC offsets are available at the analogue output connector of the CMG-5TD and are user-accessible and adjustable via adjusting screws on the top cap of the instrument. A GPS receiver is used to provide accurate time-stamps for seismic data. The GPS receiver is attached to the CMG-5TD via a supplied 20 metre cable.

3 Quick start

3.1 Unpacking and packing

The CMG-5TD accelerometer system is delivered in a single cardboard box with foam rubber lining. The packaging is specifically designed for the CMG-5T system. Whenever transported, the CMG-5TD system should be packed in its original shipping container. The packaging should be saved for re-use in the event of a later shipment.



Upon receipt of the equipment, please note any damage to the package. Unpack on a clean surface. The package should contain: digital accelerometer, a separable levelling baseplate, baseplate screws, concrete anchor and mounting bolt, GPS receiver, GPS receiver cable and power/data connection cable.

Place the CMG-5TD on a table and identify

- The power/data cable connector on the CMG-5TD top cap.
- The GPS cable connector on the CMG-5TD top cap.
- The analogue connector on the CMG-5TD top cap.
- The north orientation symbol on the CMG-5TD handle.
- The bubble level on the CMG-5TD top cap

- The screw on/off cover for output offset adjustment on the CMG-5TD top cap.
- The serial number on the label, on the top or side of the instrument.

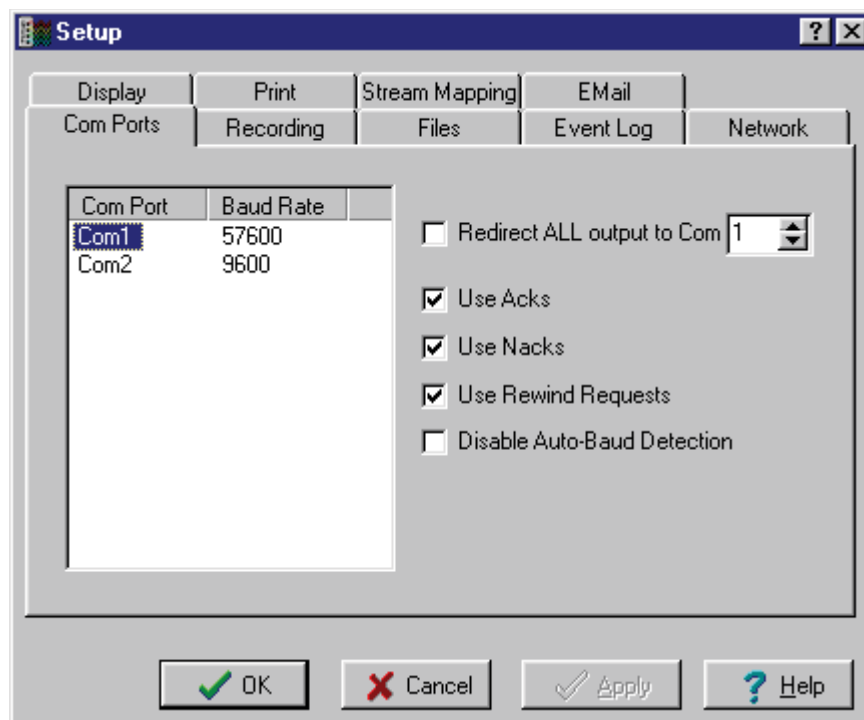
3.2 Initial check-out

This section gives a quick outline for initial system test, which should be performed prior to installation. You must provide 10-36 V DC power and a PC running Scream.

Attach the levelling baseplate to the base of the CMG-5TD using the screws provided. Set the CMG-5TD onto a flat surface. Using the large hex screws on the baseplate in conjunction with the bubble level, level the instrument. Connect the CMG-5TD directly to the PC using the supplied power/data cable

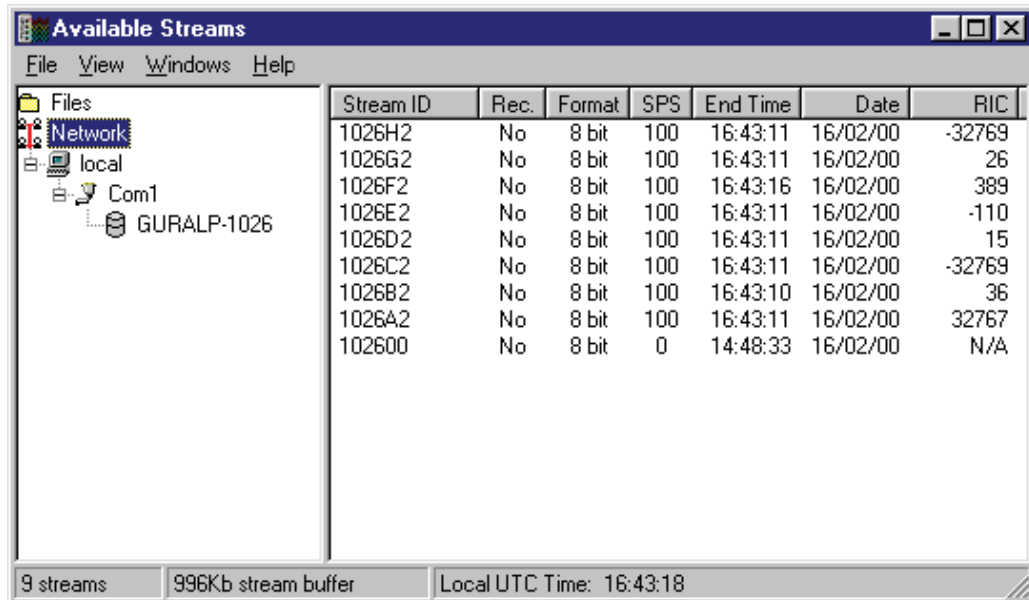
Switch on the power supply. Using the PC, start Scream and take the following steps:

1. Click on 'Setup', from the 'File' menu

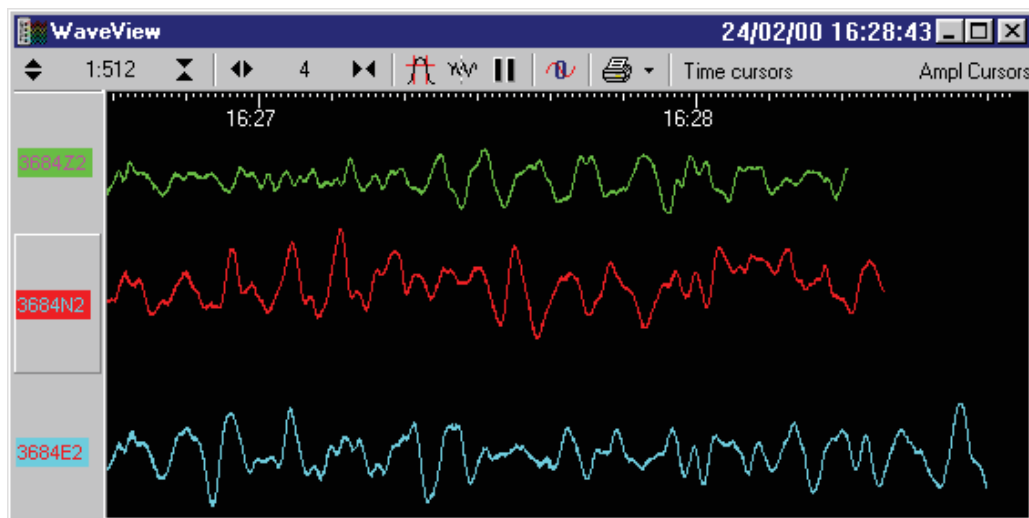


2. Select the 'Com Ports' tab
3. Click on the COM port to which the instrument is connected.
4. The factory-set baud rate for the CMG-5TD is 19200. Select 19200 from the list.
5. Click on the 'OK' button to return to the main Available Streams window.

6. In the Available Streams window, the identifier of the instrument will appear in the left hand frame (which appears similar to the tree type format of Windows Explorer) under Network → Local → Com1' (if Com1 is used)
7. The data streams will appear in the right-hand frame.



8. The Stream IDs are six-character strings which uniquely identify each instrument, component and sample rate. (There may be up-to four different sample rates per channel) The stream ending in '00' contains status information from the digitiser. Streams with higher sample rates will appear in the display sooner than the slower sample rates and it might take several minutes for the status stream to appear.
9. Select the data streams in the right side of the window by clicking on the first and then control-clicking on the last. Press the “ENTER” key to open these streams in a new ‘Waveview’ window.



10. To see status information coming from the digitiser, right click on the status stream. From the pop-up menu, select 'View'. A new window, 'Status' should open containing text. The first blocks will give the boot message from the DM, including its software revision and the data streams selected for down-loading and triggering. Later blocks give information on the expected GPS satellites, the location of the GPS antenna, time synchronization status and transmit/receive baud rates for each channel and the data link.
11. While viewing the time series from all three components in a WaveView window, gently tap the CMG-5TD, and observe the response of all three components. If the CMG-5TD passes this initial basic test, then you may proceed to install the system (see the Operation section of this User's Guide).

4 Setting the gain

The built in 5T sensor has a very large dynamic range. In order to exploit the whole of this range, two separate outputs are available, one with high gain and one with low gain. Normally, the high gain outputs are set to output a signal 10 times stronger than that from the low gain outputs. Only one set of outputs – low gain or high gain – is sent to the digitiser; the selection of which output to digitise is made using internal jumpers.



Note: To change the gain, it is necessary to open the instrument. This work must be carried out in a clean environment in order to prevent contamination of the mechanical components by air-borne dust.



Caution: The CMG-5TD include components which can be damaged by electrostatic discharge (ESD). Always work on a properly grounded dissipative surface and wear a suitable grounded wristband. Ground yourself by touching an earthed conductor before handling any of the circuit boards.

4.1 Disassembly


In order to change the gain-setting jumpers, remove the instrument's lid as follows:

- Use a large, flat-bladed screwdriver to remove the pressure-release screw located on the instrument's lid next to the bubble-level.



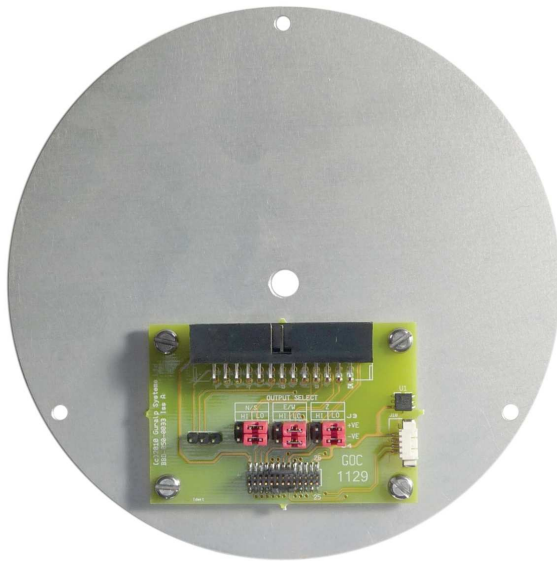
Warning: GSL instruments are assembled at near to sea level. When using the instrument at altitude, there may be a considerable pressure differential between the air inside the casing and the external atmosphere. This could cause the screw to fly off with considerable force when initially released. Take care that this does not cause injury.

- Use a small, flat-bladed screwdriver to remove the six small screws located around the edge of the top of the lid.
- Note the location of the lid with respect to the body. Use a pencil or adhesive tape to mark both so that the instrument can be reassembled in the correct orientation.
- Using a medium, flat-bladed screwdriver, gently prise the lid away from the body. A slot is provided in the top of the cylinder for this purpose.

 **Note:** The lid-to-body seal uses 'O'-rings. Take care that the lid does not suddenly fly off when this seal is broken.

- Lift the lid and the attached electronics vertically out of the cylindrical body and disconnect the ribbon cable at either end, noting the orientation of the cable.

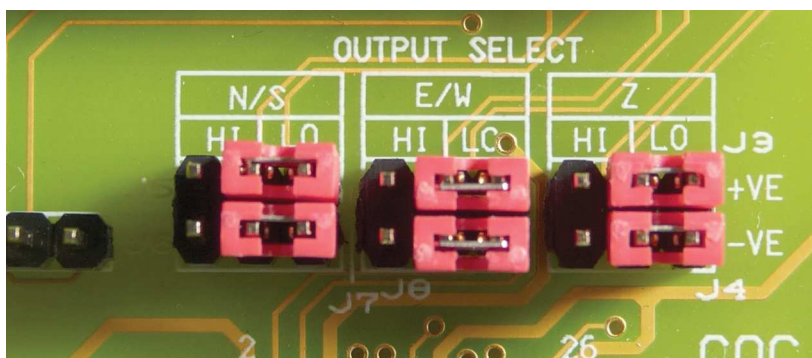
Looking down into the body of the instrument, you will see a small printed circuit board mounted on an aluminium disc. This board contains the gain-setting jumpers, which are coloured red to aid identification.



Each component (vertical, North/South and East/West) has two associated jumpers (one for each leg of the differential connection) and these must always be moved in pairs. It is possible to select different gains for different channels but this is rarely desirable. Consult the markings on the printed circuit board and the pictures below to select the desired gain.

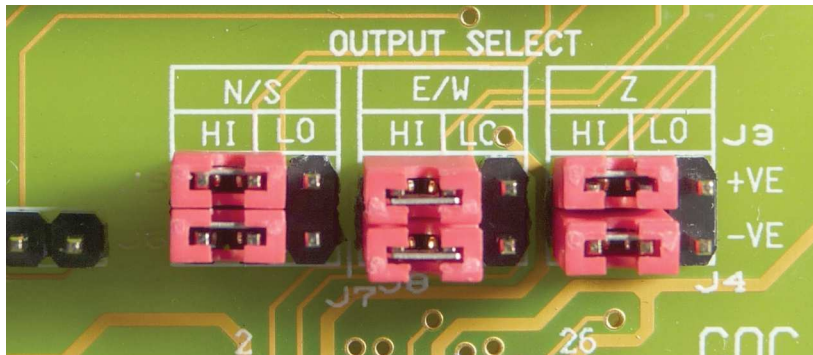
4.2 Jumper configuration for low gain operation

Arrange the jumpers as in the picture below:



4.3 Jumper configuration for high gain operation

Arrange the jumpers as in the picture below:



4.4 Reassembly

Once the desired gain selection has been made, reconnect the ribbon cable and gently lower the lid onto the instrument, taking care not to knock the electronic assemblies or snag any cables. Ensure that the lid is rotated to the correct orientation using the marks you made previously and then gently ease it over the 'O'-ring seal and into place. Secure using the six small screws and, finally, replace the large pressure release screw.

5 Operation

5.1 Installation overview

These steps make up the installation procedure. Detailed instructions follow in subsequent sections.

- Unpack the accelerometer system from the reusable container (See quick start). Save the shipping box for possible future use.
- Prepare the mounting surface.
- Mount the levelling baseplate to the CMG-5TD.
- Orient the CMG-5TD using the orientation pointers.
- Anchor the baseplate to the mounting surface.
- Level the CMG-5TD.
- Install the GPS receiver providing a clear view of the sky, and connect it to the CMG-5TD using the GPS cable.
- Connect the CMG-5TD to a PC running Scream
- Connect the power supply (12 to 36 V DC) to the grey/blue power/data cable
- Switch on the power and view the acceleration time series using Scream.
- Using a DVM, check and adjust the CMG-5TD offsets if required.
- Cover the sensor with a polystyrene cover for long term thermal stability. The cover will act as a thermal shield from draughts. Position the polystyrene box carefully so that it does not touch the sensor package.

5.2 Installation method

The surface should have a scribed north/south orientation line accurately surveyed from reliable markers. Mount the concrete anchor into the mounting bench, around the middle of the orientation line. Loosely attach the mounting (lower) portion of the levelling plate to the concrete anchor, using the bolt provided. Attach the upper portion of the levelling plate to the base of the CMG-5TD using the screws provided. Finally, attach the CMG-5TD to the mounting base by joining the two portions of the levelling plate using the socket-cap screws provided.

5.3 Installation in hazardous environments

The fully enclosed aluminium case design of the 5T instrument makes it suitable for use in hazardous environments where electrical discharges due to the build up of static charge could lead to the ignition of flammable gasses. To ensure safe operation in these conditions, the metal case of the instrument must be electrically bonded ('earthing') to the structure on which it is mounted, forming a path to safely discharge static charge.

Where electrical bonding ('earthing') is required during the installation of a 5T instrument, the central mounting hole that extends through the instrument should be used as the connection point. This is electrically connected to all other parts of the sensor case. Connection can be made either via a cable from a local earthing point terminated in a 8 mm ring tag or via the mounting bolt itself.

5.4 Orientation

Use the handle and north indicator inscribed in the handle to orient the CMG-5TD.

5.5 Levelling

Use the large socket-cap screws to level the CMG-5TD. Remove the upper portion of the mounting plate, then tighten down the concrete bolt, securing the base. Re-attach the upper portion of the mounting plate to the CMG-5TD. Check orientation and level and then tighten down the levelling locking nuts.

5.6 Power supply considerations

The CMG-5TD will operate from 12-36 V DC. The CMG-5TD draws around 185 mA from a 12 V power supply.

5.7 Connections

Connect the GPS receiver to the CMG-5TD using the cables provided.

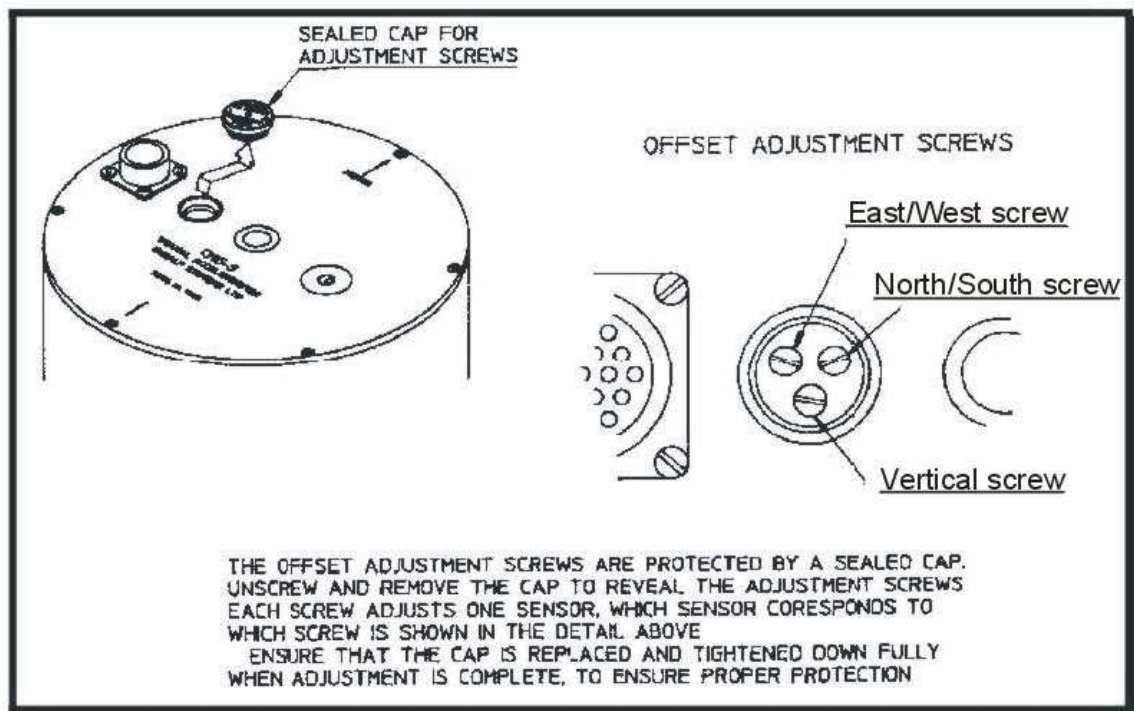
Connect the DE9 connector of the grey/blue power/data cable to a PC or communications device.

Connect the power supply (12 to 36 V DC) to the bare ends of the grey part of the grey/blue power/data cable. The red core should go to the positive terminal or the terminal marked '+' and the black core should go to the negative terminal or the terminal marked '-'. The power supply should be capable of sourcing 200 mA.

5.8 Offset adjustment

When the instrument is installed in its final position and correctly aligned, the approximate level should be checked using the bubble level on the top of the casing. The bubble should lie completely within the scribed ring. To check the DC offsets, read the RIC value for each acceleration stream in the SCREAM window. No adjustment is necessary if these values are less than or equal to ± 5000 counts.

To adjust the DC offsets, remove the screwed cover protecting the adjustment screws, as shown in the diagram below.



Warning: GSL instruments are assembled at near to sea level. When using the instrument at altitude, there may be a considerable pressure differential between the air inside the casing and the external atmosphere. This could cause the sealed cap to fly off with considerable force when initially released. Take care that this does not cause injury.

Selecting the channels in turn, adjust the level screws to reduce the RIC values to less than ± 5000 counts, repeating until consistent results are obtained on all three channels. When offset adjustment is complete, replace the protective cover firmly.

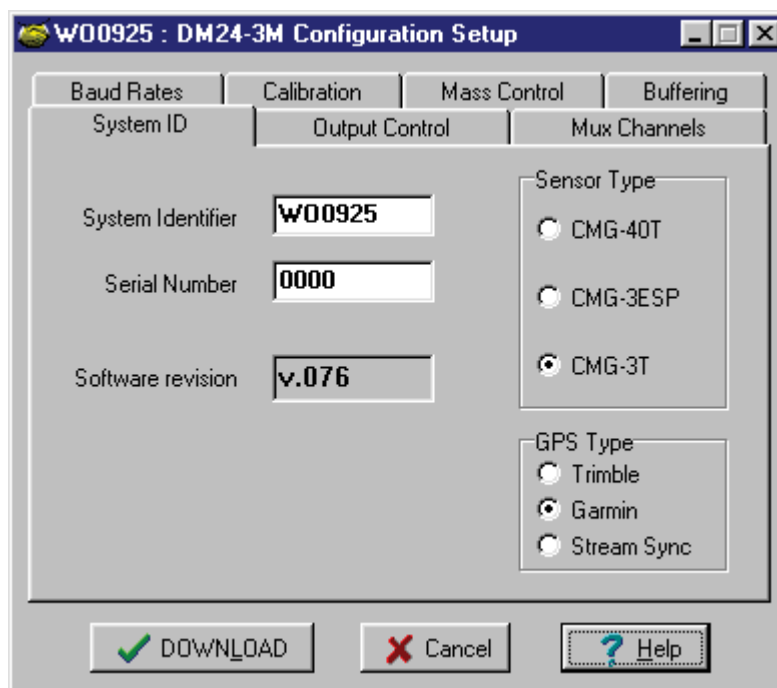
It is likely that, after the cover is installed, the accelerometer outputs will drift until the system establishes temperature equilibrium with its environment

and the sensor settles down in its position. If required, the adjustment can be repeated to achieve a better (lower) output offset. With experience, it should be possible to reduce low acceleration output levels to about ± 5000 counts or less.

5.9 Configuration and control using Scream

Scream is a free software application for Windows and Linux PCs. For more information and download details, please see www.guralp.com/scream/.

The CMG-5TD may be configured using Scream's graphical interface. Right-click on the digitiser's icon in the source tree and select "Configure" from the pop-up menu. Using this dialogue, you may interactively set the digitiser's system characteristics, control the output of streams at different digitisation rates and set output baud rates and digitiser buffering parameters.



Alternatively, using terminal emulation software, such as PuTTY, minicom or Hyper Term, you can access the digitiser's command line and send commands directly to the built in CMG-DM24 digitiser.

This mode may also be invoked from Scream by right-clicking on the digitiser's icon and selecting Terminal from the pop-up menu. When using standard terminal programs, you must initiate command mode by typing **Ctrl** + **S**. This is done automatically by Scream when a terminal window is opened to a digitiser. If you use the Scream configuration dialogue, data collection will continue while you are setting digitiser parameters. If you use Scream's terminal mode or a terminal emulator, data collection will be interrupted until you exit terminal mode by typing "GO" or issuing a RE-BOOT command.

Parameters from most of the commands are stored to the battery-backed CMOS and only take effect when the digitiser is rebooted. When you click the “Download” button from the digitiser configuration interface, the parameters you have chosen are transferred to the digitiser and it is automatically rebooted. You will notice a data gap in the traces in the Waveview window corresponding to the digitiser you have rebooted. This occurs because the reboot automatically clears the data buffer and resets the output block counter.

To access the digitiser configuration dialogue from Scream, double-click on the digitiser's icon in the Available Streams window (NOT the Local or COM port icons). Alternatively, you can right-click on the digitiser's icon and then select “Configure” from the pop-up menu.

The following sections correspond to the different tabs available in the configuration dialogue.

5.9.1 System ID

System Identifier and Serial Number: The digitiser type is identified by its system identifier and serial number. These two parameters are stored as the first two 32-bit fields in the header of each data and status block generated by the digitiser, in order to indicate the block's origin. Each of these parameters consists of 6 alphanumeric characters encoded as base 36 numbers. On delivery from the factory, the system identifier and the serial number are, respectively, set to the GSL works order number and the seismometer's serial number. Either parameter can be reset to any convenient combination of letters and numbers, such as an abbreviation of your institution and the deployment site code.

Sensor Type: This field will be pre-programmed at the factory for the proper sensor type (CMG-5T).

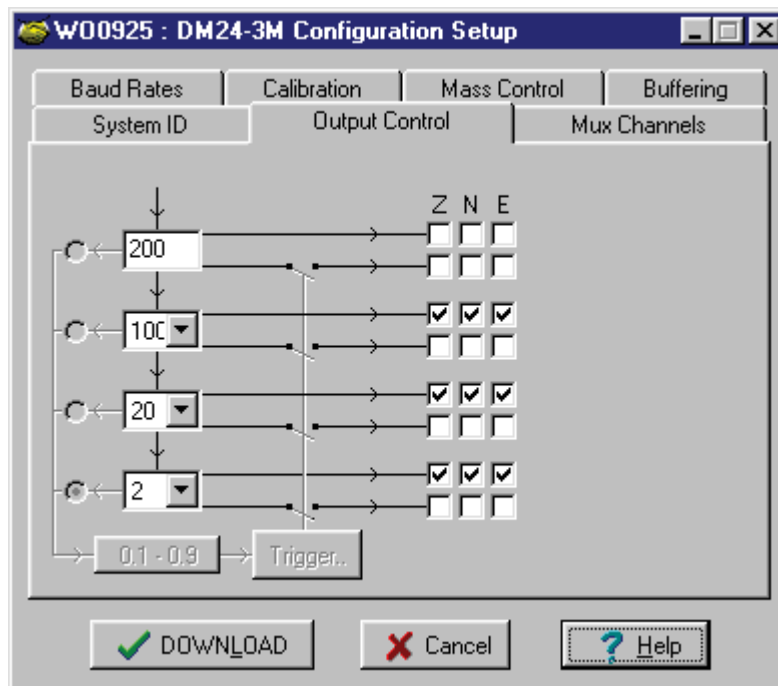
GPS Type: The digitiser can utilize time signals from different sources. Options available are NMEA (Garmin or Trimble) GPS receivers or stream synchronization. When using stream synchronization, time signals from a GPS antenna are sent via telemetry from a central site to the digitiser. In order to synchronize with the time standard in use, the correct option must be selected.

5.9.2 Output control

Sampling rate: The output of the digitiser's analogue-to-digital converters (ADC) is sampled at 2 kHz. These data are filtered and reduced to lower rates using a digital signal processor (DSP). The DSP has four cascaded filter/decimation stages, each of which can be programmed for decimation factors of $\div 2$, $\div 4$, $\div 5$, $\div 8$ or $\div 10$. The output of each stage is called a “tap”. Each stage may be configured for a different decimation factor.

The four text-fields on the left of the Output Control tab allow you to select the sampling rates for each of the four digitiser taps. Each of the taps must have a sampling rate lower than the one above but the rate must be achievable using decimation by a factor of 2, 4, 5, 8 or 10. Each drop-down menu offers a list of the rates that are permitted, given the sampling rate on the line above it.

If some of the outputs are not required, leave the check-boxes clear in order to reduce communications bandwidth requirements.



Stream selection: The digitiser has three channels or streams. These are depicted by the three columns labelled Z, N and E in the Output Control window shown above.

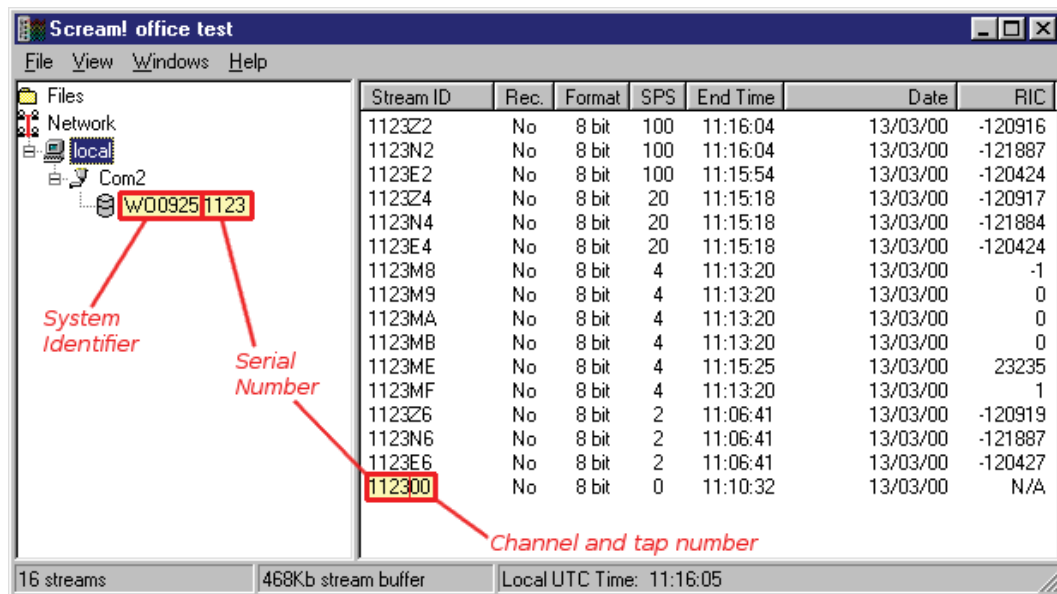
A tick in a box will give an output for the corresponding channel (column) at the corresponding sample rate (row). For each sample rate there are two possible rows to tick. The upper row for each sample rate will give a continuous output at that sample rate; the lower row, shown diagrammatically as passing through a switch, will only output data when its trigger criteria are met (see below).

The Stream IDs displayed in the main Available Streams window have six-character ID's. The first four characters identify the digitiser and the last two characters identify the stream from the digitiser. The first of these two characters identify the channel, while the second defines the 'tap', or digitiser output (see Data Transmission Protocol & Data Block Structure later).

For example; for the Output Control configuration shown above, there will be three data streams, Z, N and E, providing continuous data at 100sps, 20sps and 2sps. This is shown below, where the digitiser '1123' has the following streams:-

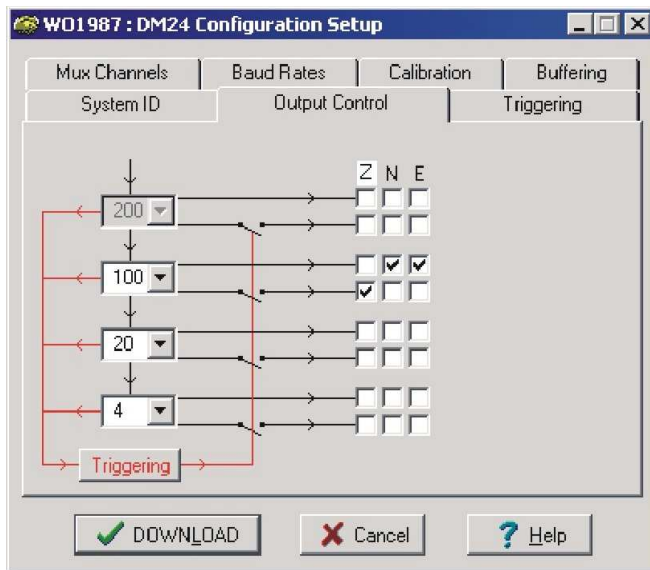
- Z2, N2, E2 are input channels Z, N, E output through the second tap ‘2’;
- Z4, N4, E4 are input channels Z, N, E output through the third tap ‘4’,
- Z6, N6, E6 are input channels Z, N, E output through the fourth tap ‘6’,
- 00 is the digitiser status stream (notice that there is no sample rate)

(Odd tap numbers (1, 3, 5, ...) are used for streams from a second instrument.)



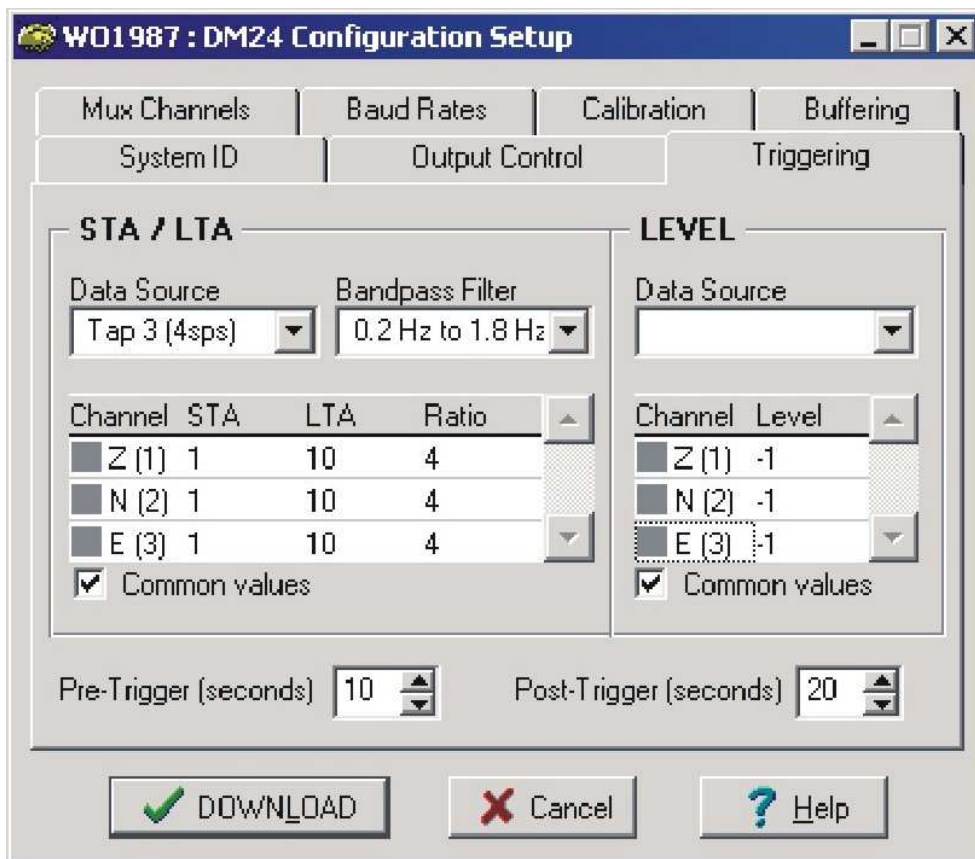
For each tap there are two rows of check-boxes where the user can tick either triggered or continuous data outputs. The digitiser applies a simple short term average (STA) ÷ long term average (LTA) algorithm and/or an absolute level (counts) algorithm to a selected stream or set of streams to determine whether the trigger condition is met. These streams may be bandpass filtered before evaluation using standard bandpass parameters. The data transmitted due to the trigger may be from different streams than those used to determine the trigger.

For this to function properly, triggering streams must be selected and trigger criteria must be set by clicking on the Trigger button . When at least one stream is selected for triggered output, selection of triggering streams and trigger criteria are enabled. It is possible to trigger from one tap but record data from one or several different taps.



5.9.3 Triggering

Once at least one box is checked for triggered output, the Triggering box and tab are activated. If you set triggering, you must also set the parameters for the trigger criteria.



The Data Source button selects the tap (streams) that will be evaluated for triggers for both the STA/LTA and the Level triggers. In general, it is not

advisable to use an STA/LTA trigger directly from broadband data. The Bandpass Filter button allows the user to select from a set of standard bandpass filters from a pull-down menu (a full list of options is given later in the STA/LTA chapter). The chosen filter will be applied to the streams from the triggering components before they are tested for the trigger condition.

The corner frequencies of the pass band of the filter are determined by the Nyquist frequency, which is given by the sampling rate of the triggering data. The three filter options have pass bands between 10% and 90%, between 20% and 90% and between 50% and 90% of the data's Nyquist frequency, respectively.

Trigger criteria: Trigger criteria for the STA/LTA and Level triggers function may be set in the Trigger Setup window, accessed by clicking on the Trigger button near the bottom of the Output Control window.

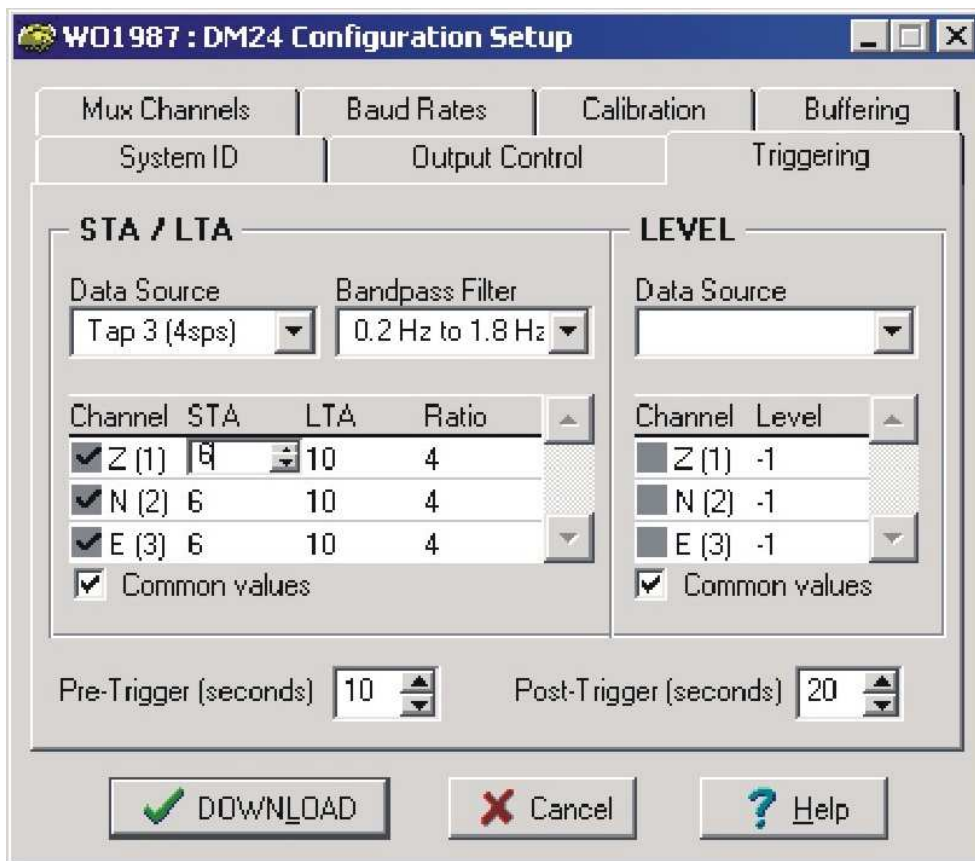
The three tick boxes down the left side of the windows (Z, N, E) allows the user to choose the channels (for the specified tap) which will be tested for a trigger condition.

STA/LTA parameters: The user sets the parameters by clicking on them. Typically, the time interval for the short term average should be about as long as the signals you want to trigger on, while the long term average should be taken over a much longer interval. Both the STA and LTA values are recalculated continually, even during a trigger.

The system declares a trigger when any one of the triggering components exceeds this value. The trigger ratio is continuously recalculated for all components and the system will only cancel the trigger condition when all the components selected for triggering have fallen below their respective ratio values.

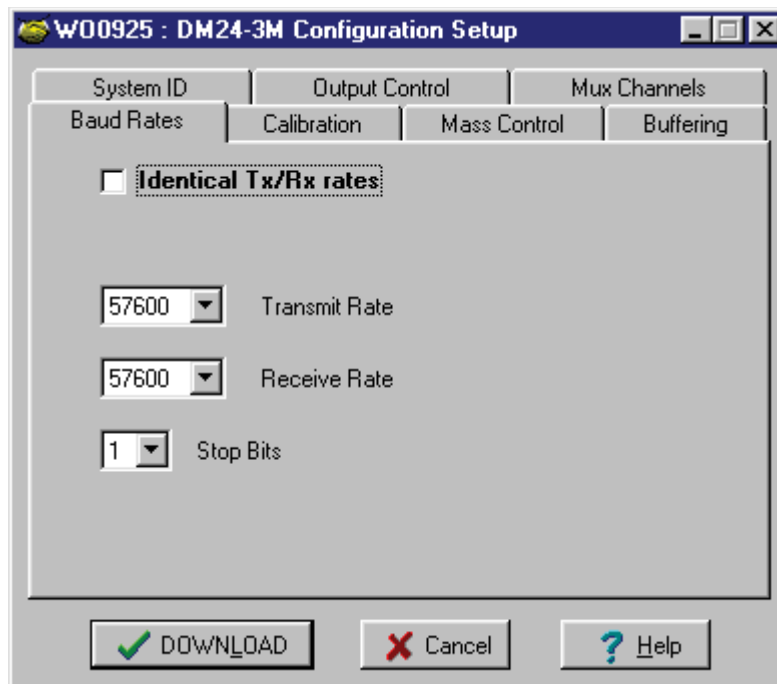
The user can also specify the pre-trigger and post-trigger data intervals. These values determine the minimum length of data that will be saved prior to the trigger condition, and how much data will be saved after the trigger condition has lapsed. Triggered streams will always start and end on integer seconds.

If the box "Common Values" is ticked, a trigger parameter entered for one component will be used for all selected components. (BANDPASS, STA, LTA, RATIO, PRE-TRIG and POST-TRIG).



Level triggering parameters: The user specifies the Data Source, channels and levels by clicking on them, similar to the STA/LTA settings. The levels are specified in counts.

5.9.4 Baud rates



This tab allows the setting of the line speed for the main serial output.

It is possible to set different rates for transmission and reception but this is rarely required with modern communications equipment. Ticking the “Identical Tx/Rx rates” check-box simplifies the dialogue.

A line speed of 115,200 Baud is adequate for the highest sample rates that the instrument can generate. It may be necessary to reduce the line speed if the data are to be passed over a modem or wireless link.

The “Stop Bits” drop-down menu should be left at 1 unless your communications equipment requires a different value.

5.9.5 Data flow

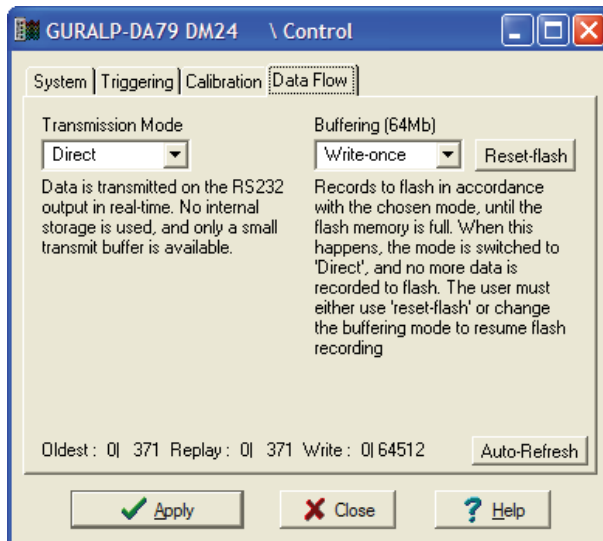
The digitizer operates in one of several *transmission modes*. These modes relate to how the unit uses its Flash memory:

- as a simple data store, from which you can request data (*FILING* and *DUAL* modes);
- as a buffer holding unacknowledged blocks, which are transmitted in preference to real-time data (*FIFO* mode);
- as a buffer holding unacknowledged blocks, which are transmitted whenever the transmission is free but no real-time data blocks are ready (*ADAPTIVE* mode);
- not at all (*DIRECT* mode).

Separate from these modes are *buffering modes*, which tell the unit what to do when its Flash memory becomes full: either

- carry on, overwriting the oldest data held, or
- stop writing and switch the digitizer into *DIRECT* mode.

You can switch between filing modes in Scream! by right-clicking on the digitizer and clicking on **Control...**, then navigating to the **Data Flow** pane:



To choose a transmission or buffering mode, choose options from the *Transmission Mode* or *Buffering* drop-down menus, and click **Apply**. An explanation of the chosen mode is displayed beneath each menu. The following sections also explain the filing modes available.

The *Buffering* legend also displays the amount of Flash memory present in your digitizer. In the example screen-shot above, this is 64 Mb.

To clear the Flash memory of the digitizer, click the **Reset-flash** button. You will be asked for confirmation before the memory is cleared.

At the bottom of the tab is a line describing the current state of the digitizer's memory pointers. You can use this line to check that data are being written into memory. Select **Auto-Refresh** to make the line update automatically.

5.9.5.1 DIRECT

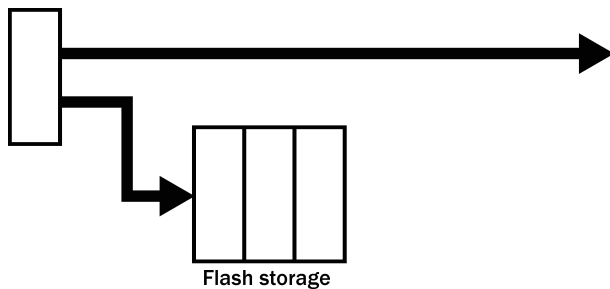


Instructs the digitizer not to use Flash memory for storage. Instead, all data are transmitted directly to clients. An instrument in *DIRECT* mode still honours the GCF Block Recovery Protocol: a temporary RAM buffer always holds the last 256 blocks generated, and if a client fails to receive a block it can request its retransmission.

If you expect breaks in communication between the instrument and its client to last more than 256 blocks, or if you want the instrument to handle breaks in transmission (rather than relying on the client to request missed blocks), you should use

- *ADAPTIVE* mode, if you want data to stay as near to real time as possible (but do not mind if blocks are received out of order) or
- *FIFO* mode, if you need blocks to be received in strict order (but do not mind if the instrument takes a while to catch up to real time.)

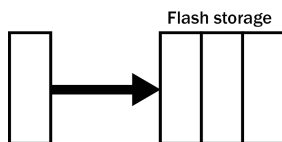
5.9.5.2 DUPLICATE



Instructs the DM24 to transmit streams directly to clients as for *DIRECT* mode, but also to store all data into Flash storage as for *FILING* mode. If a client fails to acknowledge a block, the digitizer does not attempt to retransmit it.

Heartbeat messages are not sent in *DUPLICATE* mode.

5.9.5.3 FILING



Instructs the digitizer not to transmit blocks to clients automatically, but to store all digitized data in the Flash memory. If you have chosen the *RECYCLE* buffering mode (see below), the memory is used in circular fashion, *i.e.* if it becomes full, incoming blocks begin overwriting the oldest in memory. If the *WRITE-ONCE* mode is active, the instrument will switch to *DIRECT* mode (see above) when the memory becomes full.

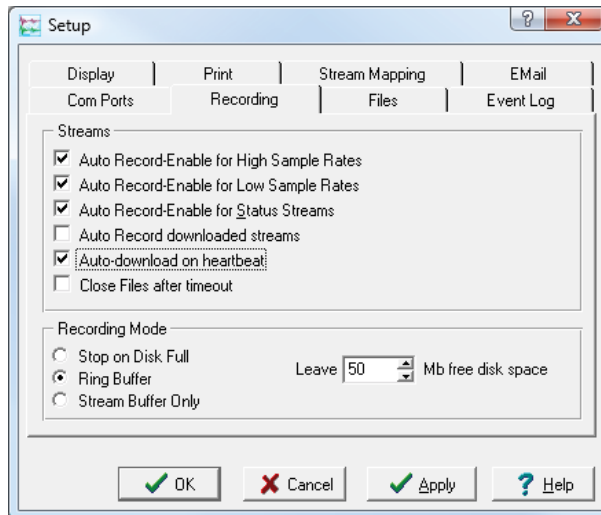
Heartbeat messages

When in *FILING* mode, an instrument transmits “heartbeat” messages over its data port. These short messages take the place of data blocks, and ensure that programs such as *Scream!* know that an instrument is present.

If your digitizer is in *FILING* mode, *Scream!* will displays a slider at the bottom of the tab. Moving this slider changes the interval between heartbeat blocks.

You can tell Scream! to download new data automatically whenever it receives a heartbeat message from an instrument in *FILING* mode. This is useful, for example, in autonomous installations connected by intermittent modem links. To enable this feature:

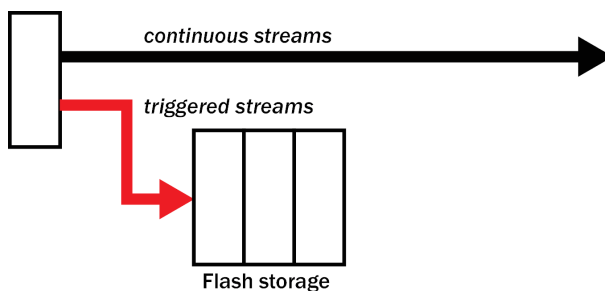
1. Choose **File → Setup...** from Scream!'s main menu, and navigate to the *Recording* pane.



2. Check *Auto-download on heartbeat*.
3. Click **OK**.

Using *FILING* mode with *Auto-download on heartbeat* ensures that Scream! receives all new data whenever it can, regardless of the configuration of any devices between you and the instrument.

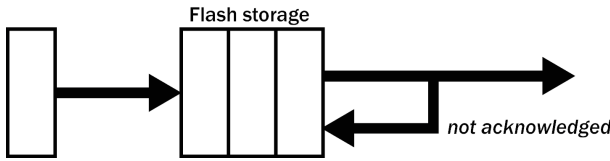
5.9.5.4 DUAL



Instructs the digitizer to transmit any *continuous* streams directly to clients as for *DIRECT* mode, but to store *triggered* data into Flash storage as for *FILING* mode.

If you choose *DUAL* mode but do not select any continuous streams for output, the instrument will send heartbeat messages as for *FILING* mode. Scream! can pick these up and download new data as necessary.

5.9.5.5 FIFO (First In First Out)



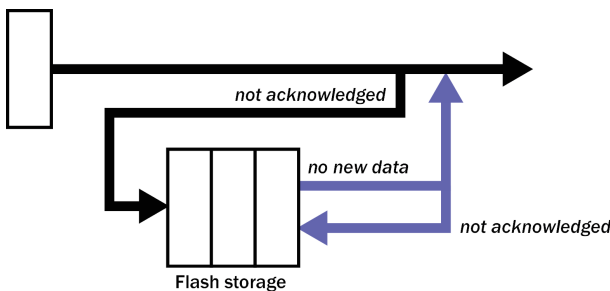
Instructs the digitizer to begin writing blocks to Flash memory as for *FILING* mode, but also to transmit data to clients. Data are transmitted in strict order, oldest first; the digitizer will only transmit the next block when it receives an explicit acknowledgement of the previous block.

If the communications link is only marginally faster than the data rate, it will take some time to catch up with the real-time data after an outage. If you want data to be transmitted in real-time where possible, but are worried about possible breaks in communication, you should use *ADAPTIVE* mode instead.

FIFO mode will consider a data block successfully transmitted once it has received an acknowledgement from the next device in the chain. If there are several devices between you and the instrument, you will need to set up the filing mode for each device (if applicable) to ensure that data flow works the way you expect.

Like all the filing modes, *FIFO* mode does not delete data once they have been transmitted. You can still request anything in the Flash memory using *Scream!* or over the command line. The only way data can be deleted is if they are overwritten (in the *RECYCLE* buffering mode, see below) or if you delete them manually.

5.9.5.6 ADAPTIVE



Instructs the digitizer to transmit current blocks to clients if possible, but to store all unacknowledged blocks in the Flash memory and re-send them, oldest first, when time allows. *ADAPTIVE* mode is best suited for “real-time” installations where the link between digitizer and client is intermittent or difficult of access.

If the communications link is only marginally faster than the data rate, it will usually be busy transmitting real-time data. Thus, it may take a while for the instrument to work through the missed blocks. In this case, and if your client

supports it, you may prefer to use the Block Recovery Protocol to request missed blocks where possible.

Some software packages (most commonly Earthworm) cannot handle blocks being received out of time order. If you are using such a package, *ADAPTIVE* mode will not work, and may crash the software.

5.9.6 Buffer Memory Usage

5.9.6.1 RE-USE / RECYCLE

Instructs the digitizer to carry on using the current filing technique when the Flash memory becomes full, overwriting the oldest data held. This buffering mode is called *RECYCLE* in *Scream!*

For example, in *DUAL* mode with *RECYCLE* buffering, the latest continuous data will be transmitted to you as normal, and the latest triggered data may be retrieved from the Flash memory using *Scream!* or the digitiser's command line. However, if you do not download data regularly from the Flash memory, you may lose older blocks. This mode thus lets you define the end point of the data held by the instrument.

5.9.6.2 WRITE-ONCE

Instructs the digitizer to stop writing data to the Flash memory when it is full, and to switch to *DIRECT* mode automatically.

For example, in *FIFO* mode with *WRITE-ONCE* buffering, the station will transmit data to you continuously, but also save them in the Flash memory until it is full. Once full, the instrument will switch to *DIRECT* mode and continue transmitting, though no further data will be saved. This mode thus lets you define the start point of the data held by the instrument.

6 Calibration

6.1 The calibration pack

All Güralp sensors are fully calibrated before they leave the factory. Both absolute and relative calibration calculations are carried out. The results are given in the calibration pack supplied with each instrument:

Works Order : The Güralp factory order number including the instrument, used internally to file details of the sensor's manufacture.

Serial Number : The serial number of the instrument

Date : The date the instrument was tested at the factory.

Tested By : The name of the testing engineer.

There follows a table showing important calibration information for the instrument, which shows:

Acceleration Output (Differential) : The sensitivity to acceleration at 1 Hz, in volts per ms^{-2} . Because the CMG-5TD uses a balanced differential output to connect to the digitiser, the signal strength as measured between the +ve and -ve line will be twice the true sensitivity of the instrument. To remind you of this, the sensitivity is given as $2 \times$ (single-ended sensitivity).

Feedback Coil Constant : A constant describing the characteristics of the feedback system. You will need this constant, given in amperes per ms^{-2} , if you want to perform your own calibration calculations (see below.)

Power Consumption : The average power consumption of the sensor during testing, given in amperes and assuming a 12 V supply.

Calibration Resistor : The value of the resistor in the calibration circuit. You will need this value if you want to perform your own calibration calculations (see below.)

6.1.1 Poles and zeroes

Most users of seismometers find it convenient to consider the sensor as a "black box", which produces an output signal V from a measured input x . So long as the relationship between V and x is known, the details of the internal mechanics and electronics can be disregarded. This relationship, given in terms of the Laplace variable s , takes the form

$$(V/x)(s) = G \times A \times H(s)$$

In this equation

- G is the acceleration output sensitivity (gain constant) of the instrument. This relates the actual output to the desired input over the flat portion of the frequency response.
- A is a constant which is evaluated so that $A \times H(s)$ is dimensionless and has a value of 1 over the flat portion of the frequency response. In practice, it is possible to design a system transfer function with a very wide-range flat frequency response.

The normalising constant A is calculated at a normalising frequency value $f_m = 1$ Hz, with $s = j f_m$, where $j = \sqrt{-1}$.

- $H(s)$ is the transfer function of the sensor, which can be expressed in factored form:

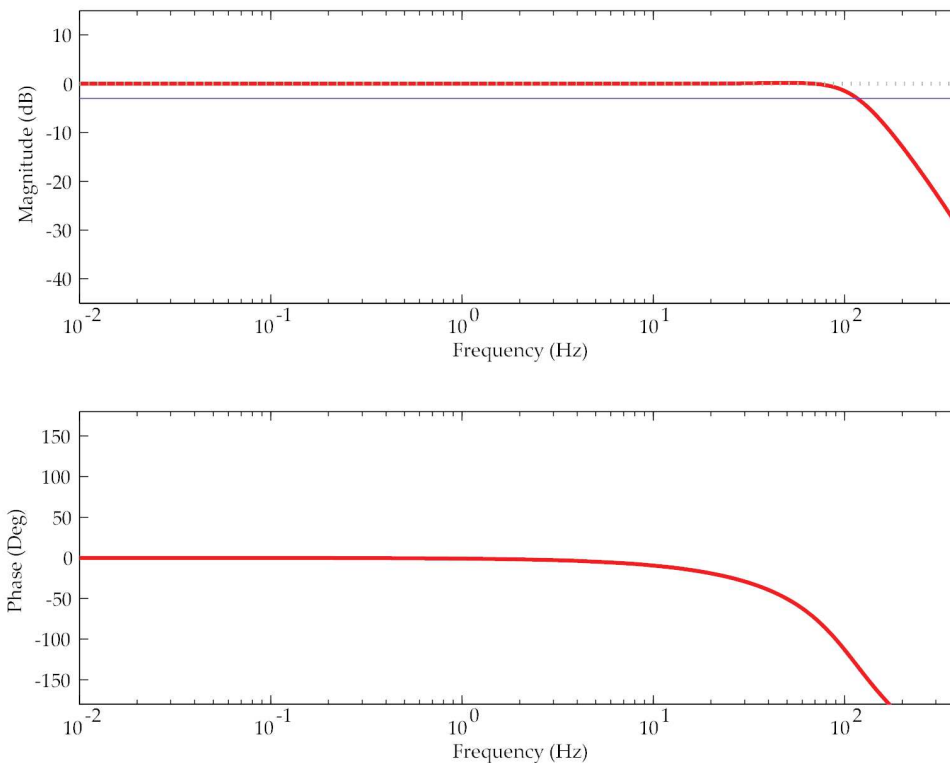
$$H(s) = N \frac{\prod_{i=1,n} s - Z_i}{\prod_{j=1,m} s - P_j}$$

In this equation, z_n are the roots of the numerator polynomial, giving the zeros of the transfer function, and p_m are the roots of the denominator polynomial giving the poles of the transfer function.

In the calibration pack, G is the sensitivity given on the first page, whilst the roots z_n and p_m , together with the normalising factor A , are given in the *Poles and Zeros* table. The poles and zeros given are measured directly at Güralp Systems' factory using a spectrum analyser.

6.1.2 Frequency response curves

The frequency response of the CG-5TD is described in the normalised amplitude and phase plots provided. The response is measured at low and high frequencies in two separate experiments. Each plot marks the low-frequency and high-frequency cut-off values (also known as -3 dB or half-power points).



If you want to repeat the calibration to obtain more precise values at a particular frequency of interest, or to check that a sensor is still functioning correctly, you can inject calibration signals into the system using a Güralp digitizer or your own signal generator, and record the instrument's response.

6.1.3 Obtaining copies of the calibration pack

Our servers keep copies of all calibration data that we send out. In the event that the calibration information becomes separated from the instrument, you can obtain all the information using our free e-mail service. Simply e-mail caldoc@guralp.com with the serial number of the instrument in the subject line, e.g.

```
From: your@email.net
To: caldoc@guralp.com
Subject: T5215
```

The server will reply with the calibration documentation in Microsoft Word format. The body of your e-mail will be ignored.

6.2 Calibration methods

Three common calibration techniques are available:

- Injecting a step current allows the system response to be determined in the time domain. The amplitude and phase response can then be

calculated using a Fourier transform. Because the input signal has predominantly low-frequency components, this method generally gives poor results. However, it is simple enough to be performed daily.

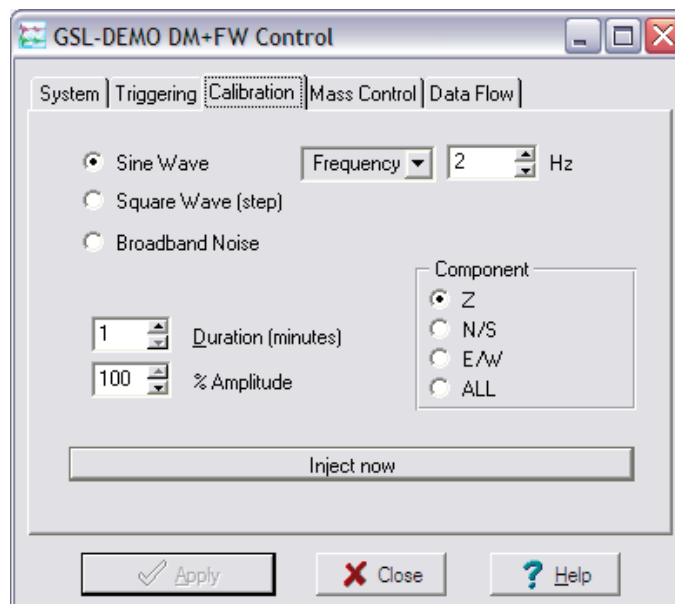
- Injecting a sinusoidal current of known amplitude and frequency allows the system response to be determined at a spot frequency. However, before the calibration measurement can be made, the system must be allowed to reach a steady state; for low frequencies, this may take a long time. In addition, several measurements must be made to determine the response over the full frequency spectrum.
- Injecting white noise into the calibration coil gives the response of the whole system, which can be measured using a spectrum analyser.

You can perform calibration using the built-in CMG-DM24 digitizer, which can generate step and sinusoidal calibration signals.

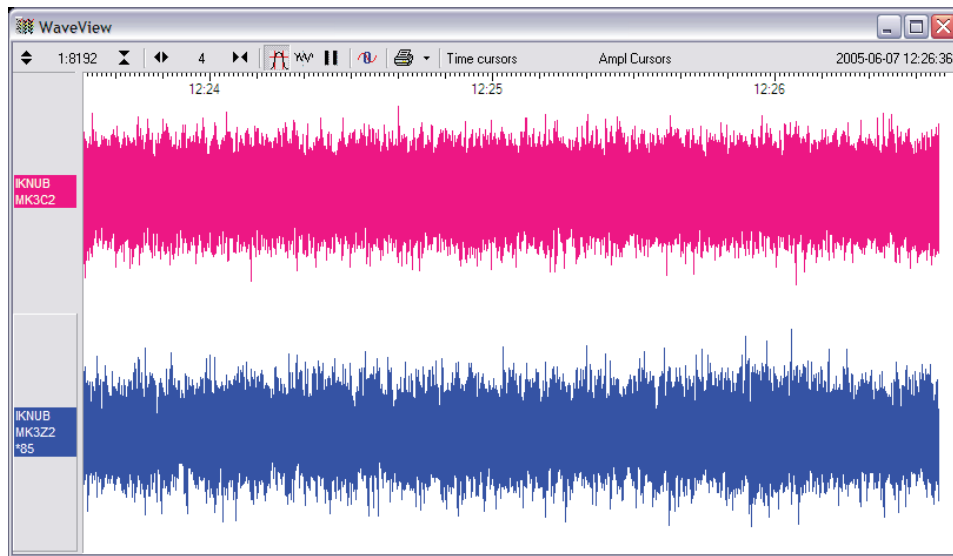
6.3 Calibration with Scream!

Calibration is most easily done using a PC running Güralp's Scream! Software. In this section, broadband noise calibration will be used to determine the complete sensor response in one action. Please refer to the CMG-DM24 and Scream manuals for information on other calibration methods.

1. In Scream!'s main window, right-click on the digitiser's icon and select **Control...**. Open the *Calibration* pane.




2. Select the calibration channel corresponding to the instrument, and choose **Broadband Noise**. Select a suitable duration and amplitude, and click **Inject now**. A new data stream, ending $C_{\underline{n}}$ ($\underline{n} = 0 - 7$) or MB, should appear in Scream!'s main window containing the returned calibration signal.

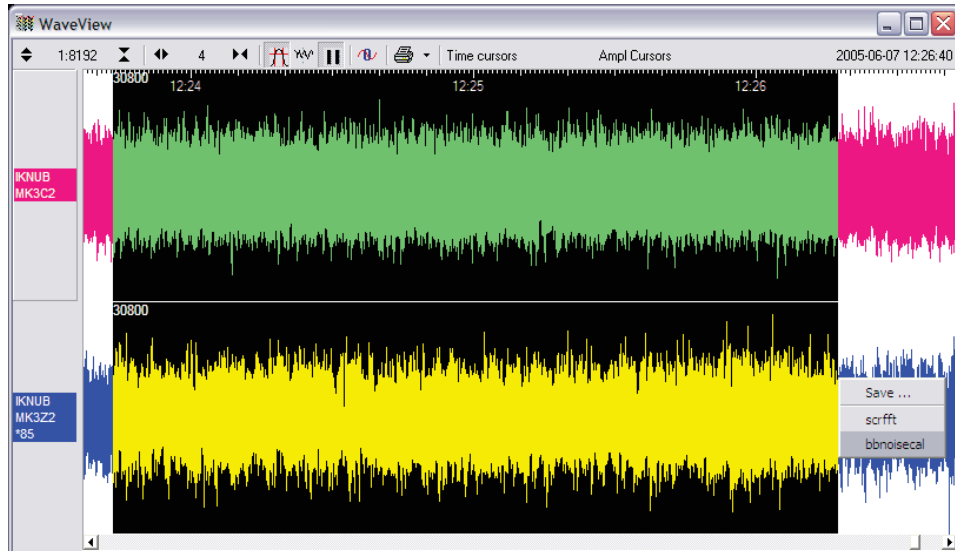


3. Open a Waveview window on the calibration signal and the returned streams by selecting them and double-clicking. The streams should display the calibration signal combined with the sensors' own measurements. If you cannot see the calibration signal, zoom into the Waveview using the scaling icons at the top left of the window or the cursor keys.

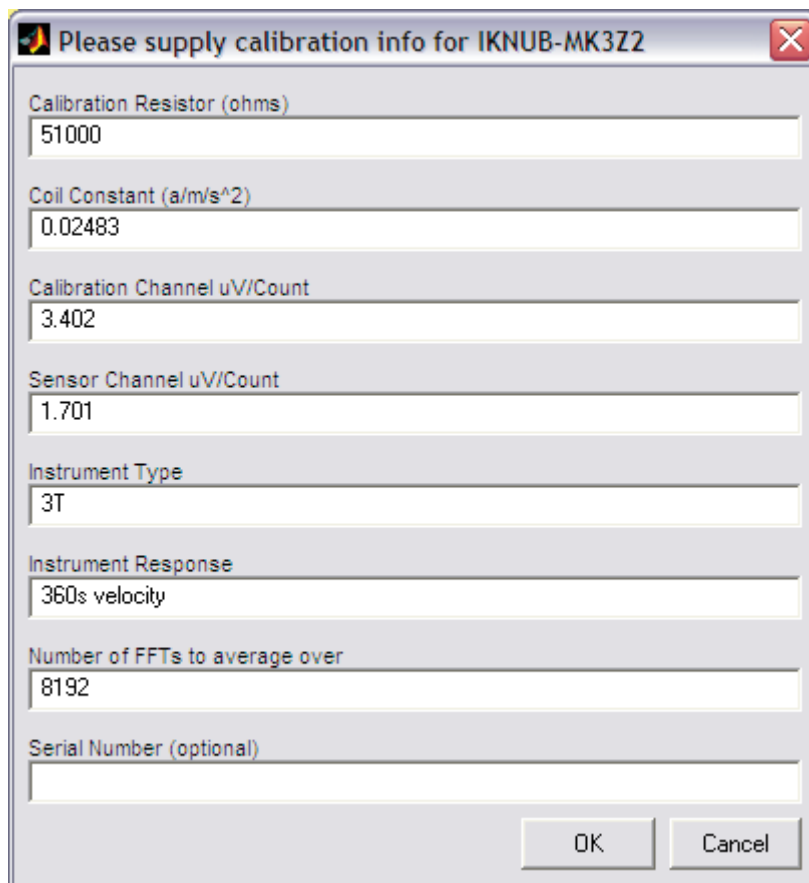
Drag the calibration stream C_n across the Waveview window, so that it is at the top.

4. If the returning signal is saturated, retry using a calibration signal with lower amplitude, until the entire curve is visible in the Waveview window.
5. If you need to scale one, but not another, of the traces, right-click on the trace and select **Scale...**. You can then type in a suitable scale factor for that trace.
6. Pause the Waveview window by clicking on the  icon.

7. Hold down **SHIFT** and drag across the window to select the calibration signal and the returning component(s). Release the mouse button, keeping **SHIFT** held down. A menu will pop up. Choose **Broadband Noise Calibration**.



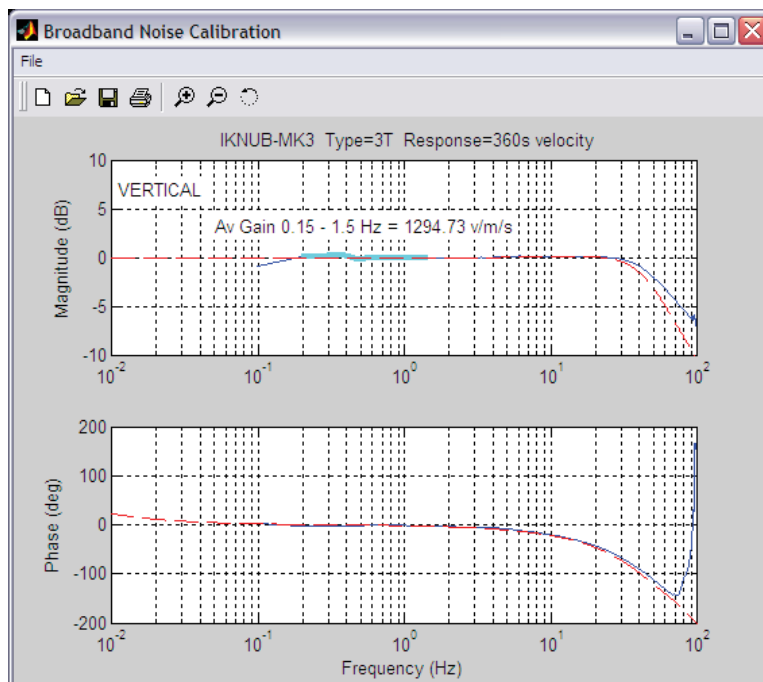
8. This runs a script, `bbnoisecal`, which prompts you for sensor calibration parameters for each component you have selected.



9. Most data can be found on the calibration sheet for your sensor. Under *Instrument response*, you should fill in the sensor response code for your sensor, according to the table below. *Instrument Type* should be set to the model number of the sensor.
10. If the file `calvals.txt` exists in the same directory as `Scream!`'s executable (`scream.exe`), `Scream!` will look there for suitable calibration values. A sample `calvals.txt` is supplied with `Scream!`, which you can edit to your requirements. Each stream has its own section in the file, headed by the line `[instrument-id]`. The *instrument-id* is the string which identifies the digitizer in the left-hand pane, e.g. GURALP-DEMO. It is always 6 characters or fewer (the system identifier) followed by a dash, then 4 characters or fewer (the serial number). For example:

```
[DEMO00-4V99]
Serial-Nos=T4V99
VPC=3.153
G=1010
COILCONST=0.02575
CALVPC=3.161
CALRES=51000
TYPE=sensor-type
RESPONSE=response-code
```

11. Click . The script will return with a graph showing the response of the sensor in terms of amplitude and phase plots for each component.



The accuracy of the results depends on both the amount of data you have selected and on its sample rate. To obtain good-quality results at low frequency, it will save computation time to use data collected at a lower sample rate; although the same information is present in higher-rate streams, they also include a large amount of high-frequency data which may not be relevant to your purposes.

The `bbnoisecal` script automatically performs appropriate averaging to reduce the effects of aliasing and cultural noise.

6.3.1 Sensor response codes

The table below shows the correct value to use in the *Instrument response* field of the `bbnoisecal` dialogue, depending on the type of your instrument.

Sensor	Sensor type code	Units (V/A)
CMG-5TD, DC – 50 Hz response	DC-50	A
CMG-5TD, DC – 100 Hz response	CMG-5_100	A
CMG-5TD, DC – 200 Hz response	CMG-5_200	A

7 Connector pin-outs

7.1 DATA

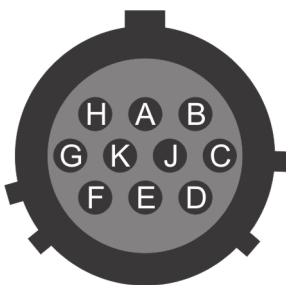
This is a standard 10-pin “mil-spec” plug, conforming to MIL-DTL-26482 (formerly MIL-C-26482). A typical part-number is 02E-12-10P although the initial “02E” varies with manufacturer.



Suitable mating connectors have part-numbers like ***-12-10S and are available from Amphenol, ITT Cannon and other manufacturers.

The pin-out is the same as the serial output of a CMG-DM24 digitiser and any GSL digital instrument, allowing you to insert an instrument with an embedded CMG-EAM into a pre-existing installation and maintain connectivity.

Pin	Function
A	Power input, 0 V
B	Power input, +10 to +35 V
C	RS232 CTS
D	RS232 RTS
E	<i>Not connected</i>
F	<i>Not connected</i>
G	RS232 ground
H	<i>Not connected</i>
J	RS232 receive
K	RS232 transmit



Wiring details for the compatible socket, ***-12-10S, as seen from the cable end (i.e. during assembly).

7.2 GPS

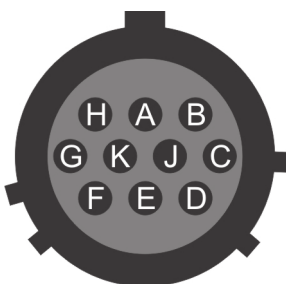
This is a standard 10-pin “mil-spec” plug, conforming to MIL-DTL-26482 (formerly MIL-C-26482). A typical part-number is 02E-12-10P although the initial “02E” varies with manufacturer.

Suitable mating connectors have part-numbers like ***-12-10S and are available from Amphenol, ITT Cannon and other manufacturers.



This pin-out is the same as the GPS input of a DM24 digitizer.

Pin	Function
A	Power 0 V
B	Power +12 V
C	1pps signal
D	<i>not connected</i>
E	Console TxD
F	Console RxD
G	GPS ground
H	Console ground
J	RS232 transmit to GPS
K	RS232 receive from GPS



Wiring details for the compatible socket, ***-12-10S, as seen from the cable end (i.e. during assembly).

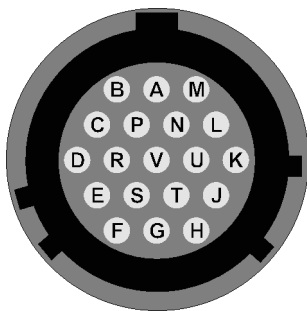
7.3 Analogue connector

This is a standard 19-pin “mil-spec” socket, conforming to MIL-DTL-26482 (formerly MIL-C-26482). A typical part-number is 02E-14-19S although the initial “02E” varies with manufacturer.

Suitable mating connectors have part-numbers like ***-14-19P and are available from Amphenol, ITT Cannon and other manufacturers.



Pin	Function	Pin	Function
A	High-gain N/S acc non-inverting	L	Unity-gain Z acc inverting
B	High-gain N/S acc inverting	M	Unity-gain Z acc non-inverting
C	Unity-gain N/S acc non-inverting	N	High-gain Z acc inverting
D	Unity-gain N/S acc inverting	P	High-gain Z acc non-inverting
E	Calibration signal	R	High-gain E/W acc non-inverting
F	Power +12 V	S	Calibration enable
G	Power 0 V	T	Signal ground
H	not connected	U	Unity-gain E/W acc non-inverting
J	Open/Closed loop mode	V	High-gain E/W acc inverting
K	Unity-gain E/W acc inverting		



Wiring details for the compatible plug, ***-14-19P, as seen from the cable end (*i.e.* when assembling).

8 Specifications

Transducer type	Accelerometer
Standard output band	DC – 100 Hz
Output sensitivity	4 g, 2 g, 1 g, 0.5 g, 0.1 g
Corresponding high gain outputs	0.4 g, 0.2 g, 0.1 g 0.05 g, 0.01 g
Peak analogue output	±10 V differential
Analogue output impedance	47 Ω nominal
Lowest spurious resonance	> 450 Hz
Linearity	0.1 % full scale
Cross-axis rejection	0.001 g/g
Dynamic range	> 165 dB > 140 dB for 0.005 – 0.05 Hz > 127 dB for 3 – 30 Hz
Operating temperature	–20 to +70 °C
Materials	Hard anodized aluminium case Mil-spec connectors
Case diameter	176 mm
Case height (with feet / handle)	245 mm
Case height (sensor only)	160 mm
Weight	4.3 kg
Isolating power supply	12 – 28 V DC
Current at 12 V DC	185 mA
Calibration controls	Command-line
Optional low pass corner	50, 100 or 200 Hz

9 Revision History

A	2002-06-05	Initial release
B	2002-10-21	Revision for firmware updates
C	2003-01-22	Revision for firmware updates
D	2012-04-17	Reformatted and revised

KEY FEATURES

Trimble R-Track technology for GPS Modernization

An important component in Scalable GPS Infrastructure solutions

Easy setup and remote operation using an Internet browser or Trimble software

Low power consumption and extreme ruggedness

VERSATILE GPS RECEIVER WITH ADVANCED COMMUNICATIONS CONTROL

The Most Powerful CORS System Available
Ideal for a wide range of GPS reference station applications, the Trimble NetRS GPS reference station is designed for use with Trimble's scalable GPS infrastructure solutions and as a Continuously Operating Reference Station (CORS) for geodetic, survey, scientific, high-accuracy GIS and monitoring applications.

The Trimble NetRS GPS reference station is ideal for the following applications: monitoring of manmade structures, natural features and subsidence; atmospheric research; survey data generation; and geodetic infrastructure.

Scalable GPS Infrastructure Solutions

Trimble provides a portfolio of infrastructure solutions including single reference stations, a network of reference stations, or a Trimble VRS™ (Virtual Reference Station) solution. This scalability allows you to select the best solution for your requirements. Trimble NetRS can be used with Trimble's GPSBase™, GPSNet™ and RTKNet™ scalable infrastructure software product family.

GPSBase is the entry point and meets the needs of companies and organizations that require a single fixed reference station to serve their local area. GPSNet, the next step, enables users to set up a network of reference stations. They can then upgrade to RTKNet and enjoy the benefits of a true Network RTK system with Trimble VRS.

Powerful Remote Management

With Internet Protocol (IP) as the primary communications mechanism, Trimble NetRS can be accessed and controlled remotely using simple Internet browsers or Trimble Infrastructure software. The NetRS uses the Linux framework, which allows for extension and customization that is simply not possible with proprietary operating systems. And with the ability to store all configuration settings to a file, you can quickly and identically configure all receivers in the network. Additionally, it is

possible to establish a primary configuration with multiple operating modes that can be remotely selected and enabled as necessary. Multiple levels of security ensure controlled access to the receiver's configuration.

Lower Maintenance and Operation Costs
Trimble NetRS features extremely rugged construction, low power consumption and dual power ports with intelligent switching. Its advanced communications control makes it easy for you to operate the receiver and manage data from a convenient location—it's not necessary to have a local computer. Following problems such as power loss, the NetRS receiver can reload its last known configuration settings; this ability eliminates the need to visit remote locations to manually reset the receiver.

Trimble NetRS Benefits

- IP as the primary communications mechanism ensures ease of use. The receiver is fully configurable from remote locations.
- Multiple security options for varying levels of user access.
- Low power consumption ensures reliable operation when using a range of power sources—including solar, mains, and battery backup.
- Small size and convenient connector layout makes Trimble NetRS easy to install.
- Exceptional flexibility in data outputs and logging.
- Rugged construction allows receiver to be set up and unattended in remote, hostile environments.
- Proven Trimble GPS receiver technology, including Trimble R-Track technology for tracking L2C signals in modernized GPS satellites. Advanced technology protects investment and ensures optimum productivity and performance into the future.



TRIMBLE NetRS GPS REFERENCE STATION

PERFORMANCE SPECIFICATIONS

- Trimble R-Track technology for tracking L2 Civil Signal (L2C)
- Advanced Trimble Maxwell™ Custom Survey GPS Chip
- High precision multiple correlator for L1 and L2 pseudorange measurements
- Unfiltered, unsmoothed pseudorange measurements data for low noise, low multipath error, low time domain correlation and high dynamic response
- Very low noise L1 and L2 carrier phase measurements with <1 mm precision in a 1 Hz bandwidth
- L1 and L2 Signal-to-Noise ratios reported in dB-Hz
- Proven Trimble low elevation tracking technology
- 24 Channels L1 C/A Code, L2C¹, L1/L2 Full Cycle Carrier, WAAS/EGNOS support

DATA STORAGE

Internal Memory 150 MB (3,400 hours) or 950 MB (21,533 hours)
of raw data observables based on recording
data from satellites at 15 sec epoch

ACCURACY

Static ±5 mm + 0.5 ppm horizontal RMS
±5 mm + 1 ppm vertical RMS

ELECTRICAL²

- 11–28 V DC external power input with over-voltage protection
- Power consumption:
 - less than 3 W for NetRS
 - 3.5 W with a Dorne & Margolin choke ring antenna
 - 4.0 W with a Zephyr Geodetic™ antenna

SIZE AND WEIGHT

Size 22.8 cm W x 6.5 cm H x 14 cm D
(9 in W x 2.6 in H x 5.5 in D)

Weight 1.6 kg (3.5 lb)

ENVIRONMENT

Operating temperature –40 °C to +65 °C
(–40 °F to +149 °F)

Storage temperature –40 °C to +75 °C
(–40 °F to +167 °F)

- Waterproof to IPX5
- Fully sealed from sand, dust and moisture

Humidity 100% non-condensing

SHOCK AND VIBRATION

- MIL-810-F Figure 514 5c-17 vibration levels on each axis
- Shock tested to MIL-810-F Table 516.5-I to survive a 2 m (6.56 ft) drop onto hard surface

COMMUNICATION

- 1 LAN port
 - 1 port with RJ45 connector supports links to 10BaseT/100BaseT networks
 - All functions are performed through a single IP address simultaneously—including web GUI access, FTP file transfer, and RT17 streaming
- 4 RS232 ports
 - One or more serial ports can be used simultaneously for local CMR or RTCM correction transmission or a remote PPP dial-up through a modem supporting all the same functions that are available through the 10BaseT/100BaseT port
- Security features
 - HTTPS supporting SSL encryption
 - IP filtering
 - Client authentication for datastreams
 - Configurable ethernet ports for HTTP, HTTPS and FTP

POSITIONING AND OUTPUTS

- 1 Hz, 2 Hz, 5 Hz and 10 Hz positioning, internal logging and data streaming outputs
- RT-17 outputs
- CMR, CMR+, BINEX and RTCM 2.1, 2.3 outputs

CONTROL SOFTWARE

HTML web browser Internet Explorer 5.0 or later
and Netscape 4.78 or later

ANTENNA OPTION

- Zephyr Geodetic and rover, and EDO Dorne & Margolin Choke Ring Antenna

CERTIFICATIONS

- Class B Part 15 FCC certification, CE Mark approval, and C-tick approval

¹ The availability of L2C signals is dependent on the US Government. Trimble NetRS is compatible with the new L2C signal.

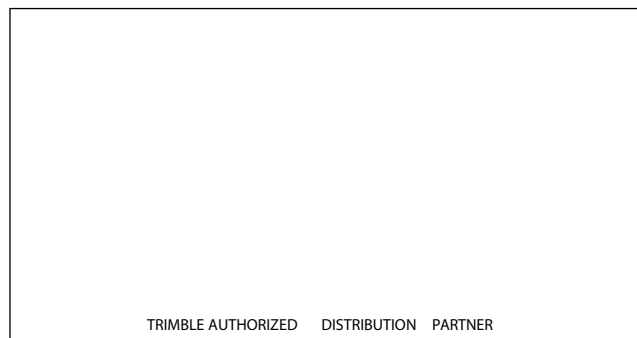
² For "auto-power on" please note the voltage must be above 12 V.

This product includes software developed by the WU-FTPD Development Group, the Washington University at Saint Louis, Berkeley Software Design, Inc. and their contributors.

Specifications subject to change without notice.



© 2004–2005, Trimble Navigation Limited. All rights reserved. Trimble, the Globe & Triangle logo, and NetRS are trademarks of Trimble Navigation Limited, registered in the United States Patent and Trademark Office and other countries. GPSNet, Maxwell, NetRS, RTKNet, VRS, and Zephyr Geodetic are trademarks of Trimble Navigation Limited. All other trademarks are the property of their respective owners. Reorder PN 022543-058B (10/05)



NORTH AMERICA
Trimble Engineering
and Construction Group
5475 Kellenburger Road
Dayton, Ohio 45424-1099 • USA
800-538-7800 (Toll Free)
+1-937-245-5154 Phone
+1-937-233-9441 Fax

EUROPE
Trimble GmbH
Am Prime Parc 11
65479 Raunheim • GERMANY
+49-6142-2100-0 Phone
+49-6142-2100-550 Fax

ASIA-PACIFIC
Trimble Navigation
Singapore Pty Limited
80 Marine Parade Road
#22-06, Parkway Parade
Singapore 449269 • SINGAPORE
+65-6348-2212 Phone
+65-6348-2232 Fax



www.trimble.com

QUANTERRA



Q330HRS

ULTRA HIGH-RESOLUTION NETWORK-AWARE SEISMIC SYSTEM

A New Performance Standard

The Q330HRS sets a new performance standard in seismological instrumentation, building upon the widely praised ultra-low-power Q330. The Q330HRS breaks the 24-bit performance barrier to extend the capability of advanced instrumentation for research. The Q330HRS remains 100% compatible with our Q330. ([See Q330 data sheet for a general and functional product description.](#))

Telemetry...and Local USB Recording

The Q330HRS supports real-time data telemetry to multiple central sites **and** simultaneous local recording on rugged USB flash media. The peerless performance of the Quanterra 330 in the IRIS/USArray program has established an unchallenged reputation for delivery of high quality data.

SPECIFICATIONS

Main Channels	Six: 3 HR 26-bit & 3 standard 24-bit
Dynamic Range	147-148 dB wideband rms typical
HR Channels	0.02-20Hz 150-151 dB
Input Range	40V P-P at gain=1
Gain	Selectable per channel: 1,20 HR; 1,30 standard
Filtering	Linear or Minimum Phase FIR.
Sample Rates	200, 100, 50, 40, 20, 10, 1. Independently available any channel.
Time Base	Precision TCXO, phase locked to GPS. No adjustment.

FEATURES

High Resolution

The Q330HRS sets a new standard, requiring 26-bit resolution to fully represent its dynamic range. The 'HR exceeds GSN-class standard set by Quanterra nearly 20 years ago.

Rugged USB Media - MSEED

FDSN-standard recorded on dual USB media. The media are housed in a rugged watertight compartment.

Internet-Ready Industry Standards

The ultra-reliable Q330HRS telemetry protocols have been proven in thousands of world-wide installations, and enable the use of off-the-shelf IP equipment and service providers. Dual Ethernet interfaces 10BaseT and 100BaseT are built in. Data recorded on local media may be accessed using simple standard protocols including HTTP, FTP and SSH.

Physical Dimensions

Sealed, aluminum, 14x4x6 in., 16 lbs., rubber endcaps, externally visible status and fault indicators.

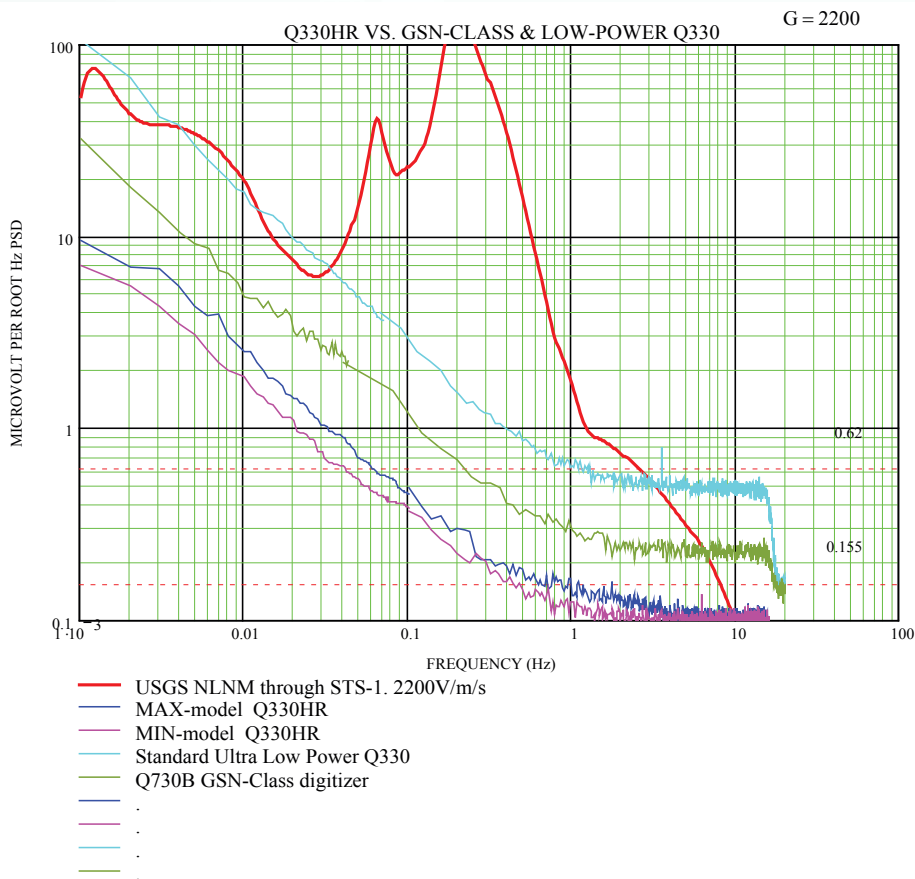
DSP/CPU	ADSP-2189M & EP9302
Serial Ports	1 console port up to 115kbaud
Telemetry	Full Duplex, efficient positive acknowledge with advanced error control. Industry-standard IP over serial and Ethernet interfaces. Burst or continuous.
Media	Dual USB up to 32GB total, failover. -40° +70° rated media available.
Format and Protocol	32-bit integer, Level 2 compressed 1-second packets. Published protocols operate with numerous major application software packages.
Temperature	Fully specified -10 to +50° C Operative -40° to +70° C

Continued

QUANTERRA

SPECIFICATIONS

Sensor Control	Calibrate step, sine, or random. Recenter, on-command	Serial Network	2 serial network ports up to 115 kbaud.
Additional State-of-Health	Temperature, DC voltage, GPS status, Sensor boom position (6chan)	Wireless	IrDA interface supported.
Memory	32MB RAM standard	Power	<2.0 W avg. 12VDC 3-channels on <2.5 W avg. 12VDC 6-channel on
Ethernet Network	Dual Ethernet (10BaseT & 10/100BaseT) Full IP Protocol Stack (Linux)		



QUANTERRA



The Q330S is an advanced 3 or 6 channel broad-band, high resolution ultra-low-power seismic system incorporating Quanterra's proven IP networking technology and super rugged USB flash recording. The Q330 uses Quanterra's exclusive patented (US Patent 4866442, Japan Patent 2787445, others pending) delta-sigma 24-bit A/D with DSP, and includes 32Mb RAM, GPS receiver, USB recording, power management, sensor command/control, and an advanced telemetry application for reliable data delivery.

Streamlined Remote Administration

The Q330S is designed for simple network maintenance and administration, before, during, and after deployment. Internet security is built-in. Proven UDP and TCP communications modes are standard.

Telemetry...and Local USB Recording

The Q330S supports real-time data telemetry to multiple central sites and simultaneous local recording on rugged USB flash media. The peerless performance of the Quanterra Q330 in the IRIS/USArray program has established an unchallenged reputation for delivery of high quality data.

Rugged USB Media - MSEED

FDSN-standard MSEED recorded on dual USB media. The media are housed in a rugged watertight compartment.

SPECIFICATIONS

Channels	3- or 6-channel
Dynamic Range	132-135 dB wideband RMS typical Typical band-limited 136 dB
Format	2-bit integer, Level 2 compressed 1-second packets
Input Range	40V P-P at gain=1
Gain	Selectable per channel: 1,30
Filtering	Linear or Minimum Phase FIR.

Q330S

VERY LOW-POWER HIGH-RESOLUTION INTEGRATED SEISMIC SYSTEM

FEATURES

Low! Power

Incorporating the latest low-power technology, the Q330S achieves integrated capability with an average power requirement of <0.75W, including recorder & GPS!

Internet-Ready Industry Standards

The ultra-reliable Q330S telemetry protocols have been proven in thousands of world-wide installations, and enable the use of off-the-shelf IP equipment and service providers. Dual Ethernet interfaces 10BaseT and 100BaseT are built-in. Data recorded on local media may be accessed using simple standard protocols including HTTP, FTP, and SSH.

Comprehensive Sensor Control

The Q330S is a seismological instrument, not a digitizer alone. Sensor control interface, including advanced sensor calibration, and sensor identification-tag support is built in.

Sample Rate	200, 100, 50, 40, 20, 10, 1 Other rates available.
Time Base	Precision TCXO, locked to GPS. No adjustment.
DSP/CPU	ADSP-2189M & EP9302
Telemetry	Full Duplex, efficient positive acknowledge with error control. UDP or TCP IP over Ethernet. Burst or continuous. Operates with major application software.
Temperature	Fully specified -20 to +50C Operative -40 to +70C

Continued

QUANTERRA

SPECIFICATIONS

Operational	Temp, DC voltage, GPS status, Sensor boom position (6 chan)
Memory	32Mb RAM standard
Network	Dual Ethernet (10BT & 10/100BT) Full IP Protocol Stack (Linux)
Serial Ports	1 console ports up to 115kbaud.
Media	Dual USB up to 32G total, failover. -40 +70 rated media available.
Wireless	IrDA interface supported.
Power	<0.6 W avg. 12VDC 3-channel <0.8 W avg. 12VDC 6-channel Add 1.2W for continuous operation. Other dynamic dependencies.
Physical	Sealed, Aluminum, 17 X 4 X 6 in., 9 lbs., Rubber endcaps, Externally visible status and fault indicators.

ANEXO 2

HOJA TÉCNICA DEL SATÉLITE DE COMUNICACIONES INTELSAT IS-14



INTELSAT EARTH STATION STANDARDS (IESS)

Document IESS–101 (Rev. 61)

INTRODUCTION AND APPROVED IESS DOCUMENT LIST

Note: The most updated information listing and documents are available to Intelsat's authorized customers on Intelsat's IBN web site <https://ibn.intelsat.com>.

Approval Date: 10 March 2005

All of the information contained in these IESS documents are considered proprietary and confidential to Intelsat Global Service Corporation and its affiliates. You (1) must maintain this information as confidential, (2) may not use the information for any purposes other than for Intelsat's system, and (3) may not disclose such information to any third party without the express written consent of Intelsat Global Service Corporation. Intelsat and its affiliates disclaim all responsibility for unauthorized use or distribution of this information.

INTELSAT EARTH STATION STANDARDS (IESS)

INTRODUCTION AND APPROVED IESS DOCUMENT LIST

1. INTRODUCTION

1.1 All earth stations accessing the Intelsat space segment are required to obtain Intelsat's prior approval.

1.2 It is the user's responsibility to establish compatibility between all earth stations within their system and to comply with Intelsat criteria for interference between earth stations and Intelsat satellites on which space segment capacity is provided. To assist prospective users, Intelsat provides documents detailing performance characteristics that are necessary to achieve the following:

- (a) Satisfy Intelsat's technical requirements in order to obtain Intelsat's approval to access its space segment.
- (b) Qualify for acceptance as a "Standard" earth station when accessing the Intelsat space segment.

The Intelsat Earth Station Standards (IESS) are published by Intelsat to provide users with a common source of reference for the performance characteristics required from earth stations and associated equipment to access the Intelsat space segment for the purposes of establishing communication links.

1.3 The following standard modulation and access methods are currently approved and specified in detail in the IESS modules for providing various Intelsat global services:

- (a) Time Division Multiple Access with Direct Digital Interface (TDMA/DDI), Digital Speech Interpolation (TDMA/DSI) and without Digital Speech Interpolation (TDMA/DNI).
- (b) Digital transmission using Quadrature Phase Shift Keying/Frequency Division Multiple Access Carriers (QPSK/FDMA) for Intermediate Data Rates (IDR) Carriers and Dedicated Digital Carriers within the Internet Trunking Service (ITS).
- (c) Digital transmission for Intelsat Business Services (IBS) using Quadrature Phase Shift Keying/Frequency Division Multiple Access or Binary Phase Shift Keying/Frequency Division Multiple Access (QPSK/FDMA or BPSK/FDMA) Carriers.
- (d) Digital transmission for Intelsat Business Services (IBS) using Octal Phase Shift Keying/Frequency Division Multiple Access Carriers (8PSK/FDMA).

- (e) Digital transmission using Octal Phase Shift Keying/Frequency Division Multiple Access Carriers (8PSK/FDMA) for Intermediate Data Rates (IDR) Carriers and Dedicated Digital Carriers within the Internet Trunking Service (ITS).
- (f) Demand Assigned Multiple Access Digital Carriers (DAMA) using Quadrature Phase Shift Keying/Frequency Division Multiple Access Carriers (QPSK/FDMA).
- (g) Digital transmission for the Internet Trunking Service (ITS) using a Quadrature Phase Shift Keying/Frequency Division Multiple Access Carrier (QPSK/FDMA) compliant with DVB–S Standard ETS 300 421 for the forward channel (hub–to–remote) and Quadrature Phase Shift Keying/Single Channel Per Carrier (QPSK/SCPC) for the return channels (remote–to–hub).
- (h) Digital transmission using Turbo Coding with Quadrature Phase Shift Keying/Frequency Division Multiple Access (QPSK/FDMA) or Offset Quadrature Phase Shift Keying/Frequency Division Multiple Access Carriers (OQPSK/FDMA) for VSAT service.
- (i) Digital transmission using 16–Level Quadrature Amplitude Modulation (16QAM)/Frequency Division Multiple Access (16QAM/FDMA).

1.4

In conjunction with the standard modulation and access methods listed in paragraph 1.3 above, Intelsat has established performance characteristics for various earth station types:

- (a) Standard A, having a nominal G/T of 35.0 dB/K and operating in the 6/4 GHz bands, for international service.
- (b) Standard B, having a nominal G/T of 31.7 dB/K and operating in the 6/4 GHz bands, for international service.
- (c) Standard C, having a nominal G/T of 37.0 dB/K and operating in the 14/11 GHz and/or 14/12 GHz bands, for international service.
- (d) Standard E, having nominal G/Ts of 25.0 dB/K (Standard E–1), 29.0 dB/K (Standard E–2) and 34.0 dB/K (Standard E–3) and operating in the 14/11 or 14/12 GHz bands, for Intelsat Business Services (IBS), IDR international service, the Internet Trunking Service (ITS) and VSAT Service using Turbo Coding with QPSK/OQPSK (Standard E–1).
- (e) Standard F, having nominal G/Ts of 22.7 dB/K (Standard F–1), 27.0 dB/K (Standard F–2) and 29.0 dB/K (Standard F–3) and operating in the 6/4 GHz bands, for Intelsat Business Services (IBS), IDR international service, the Internet Trunking Service (ITS) and VSAT Service using Turbo Coding with QPSK/OQPSK (Standard F–1).

- (f) Standard G, having no specified G/T, for accessing the Intelsat space segment to provide international and domestic services not covered by Standard A through F earth stations listed above.

Standard G earth stations also allow the use of modulation and access techniques other than those listed in paragraph 1.3 above and only define performance characteristics in terms of general RF boundary conditions.

- (g) Standard H, having nominal G/Ts of 15.1 dB/K (Standard H–2), 18.3 dB/K (Standard H–3) and 22.1 dB/K (Standard H–4) and operating in the 6/4 GHz bands, for Intelsat DAMA, VSAT IBS, the Internet Trunking Service (ITS) and VSAT Service using Turbo Coding with QPSK/OQPSK.
- (h) Standard K, having nominal G/Ts of 19.8 dB/K (Standard K–2) and 23.3 dB/K (Standard K–3) and operating in the 14/11 GHz and/or 14/12 GHz bands, for VSAT IBS, the Internet Trunking Service (ITS) and VSAT Service using Turbo Coding with QPSK/OQPSK.

- 1.5 Non–standard earth stations having performance characteristics and/or operational modes lower than those specified as mandatory, but otherwise meeting all other requirements, will be considered individually as they arise and on their merits. An earth station that does not meet all of the mandatory requirements may require additional satellite resources and may, therefore, be assessed higher space segment charges.

2. DESCRIPTION OF THE IESS

- 2.1 The IESS comprises six groups of documents as shown in Table 1:

- Group 1, titled INTRODUCTORY, contains general guidelines intended to assist earth station users in acquiring earth station facilities for the provision of certain communication service(s). Documents from this group are numbered 101, 102, 103, etc.
- Group 2, titled ANTENNA AND RF EQUIPMENT CHARACTERISTICS, contains the performance characteristics of the various earth station categories (Standard A, B, C, etc.) approved for access to the Intelsat space segment. Documents from this group are numbered 201, 202, 203, etc.
- Group 3, titled MODULATION & ACCESS CHARACTERISTICS, contains the performance characteristics of the various types of modulation and access techniques (e.g., IBS, QPSK/IDR, TDMA, etc.) approved for access to the Intelsat space segment. Documents from this group are numbered 301, 302, 303, etc.

- Group 4, titled SUPPLEMENTARY, contains additional performance characteristics or technical information on specialized areas that may be required by users to build their earth station facilities. Documents from this group are numbered 401, 402, 403, etc.
- Group 5, titled BASEBAND PROCESSING, contains system specifications, such as, Digital Circuit Multiplication Equipment (DCME)* and Digital TV transmission. Documents from this group are numbered 501, 502, etc.
- Group 6, titled GENERIC EARTH STATION STANDARDS, boundary RF characteristics for earth stations accessing the Intelsat space segment for international and domestic services not covered by other earth station standards, such as used with leased services. Documents from this group are numbered 601, 602, 603, etc.
- Group 7, titled INTELSAT–MANAGED TELECOMMUNICATIONS NETWORKS, contain service descriptions, performance characteristics and technical information that may be required by users to establish their own telecommunications networks using satellite and/or terrestrial facilities owned or managed by Intelsat. Documents from this group are numbered 701, 702, 703, etc.

2.2 Communications provided through Intelsat satellites, which make use of the various modulation and access methods (see paragraph 1.3) and standard earth station types (see paragraph 1.4) are fully described with regard to their technical requirements by the combination of the IESS modules indicated in Table 2.

2.3 As of the approval date of this document, the IESS modules listed in the IESS Document List presented in Appendix A have been approved.

2.4 Criteria regarding revisions to IESS modules:

- (a) In general the entire module will be re–issued as a full revision and identified as a numerical revision (e.g., Rev. 1). Any module with less than 35 pages will always be re–issued in its entirety.
- (b) In special cases, when only a few pages are affected, partial revisions will be issued as follows:
 - The cover page will show the approved date of the numerical revision as well as the partial revision.
 - Partial revisions will be identified by a letter placed just after the revision number (e.g., Rev. 1A). If the partial revision affects a module that has never been revised, it will be identified only by a letter (e.g., Rev. A).

* See footnote (*) on the DCME following Table A.1 of Appendix A.

- Several partial revisions may be issued (e.g., Rev. 1A and 1B). Once the total number of pages affected by all partial revisions exceeds 15% of the module, however, a full revision will be issued.

(c) Revisions to IESS modules are considered to apply whenever these modules are referred to within the text.

2.5 For clarity, characteristics that are mandatory have been marked by a thick line in the left–hand margin in each of the IESS modules, as illustrated for this paragraph.

2.6 References To Standards Organizations

In recognition of the evolving nature of Recommendations and Standards that may be issued by standards–setting organizations, for example, the ITU^{*}, IETF[†] and DVB[‡], it is necessary that the pertinent references be included in the IESS. For modules approved after 1 January 1989, an Appendix is included that specifically identifies the appropriate version of each Recommendation or Standard referenced.

2.7 Satellite Nomenclature

Intelsat has adopted a standard naming convention for Intelsat satellites. For modules approved as of 19 June 1992, the Intelsat satellite nomenclature will consist of a three digit Arabic number code, which identifies the satellite series and the flight model. This replaces the previous nomenclature, whereby a mixture of Roman and Arabic numerals was used. Thus, for example, Intelsat VI (F–3) becomes Intelsat 603, etc. Generations of satellites continue to be referred to in the traditional manner, for example, Intelsat VI, VII, etc.

3. GENERAL GUIDELINES FOR INTELSAT EARTH STATIONS

3.1 An earth station will normally comprise: one or more antennas with steering and/or tracking equipment as required, one or more RF transmitters, one or more low–noise RF receiving amplifiers, RF transmission lines, ground communications equipment for conversion from baseband–to–RF and vice-versa, multiplex and terrestrial interface equipment.

3.2 The number of antennas is dependent on the number of satellites through which communication is required and any facilities for system diversity and redundancy that may be deemed necessary.

* International Telecommunications Union

† Internet Engineering Task Force

‡ Digital Video Broadcasting

- 3.3 The minimum steering and tracking capabilities of antennas operating with the various satellite series are given in the Group 2 IESS modules. It is believed that users will wish to have their antennas so constructed that, if necessary, the main beam pointing can be varied significantly to cover the portion of the orbital arc visible from the station since, at some later time, it might be desired to operate the antenna with a satellite at a different longitude. This would also permit on-site demonstration of compliance with the mandatory sidelobe envelope specification.
- 3.4 As of the approval date of this document, the IESS applies to earth stations accessing the Intelsat VI, VII, VIIA, VIII, VIIIA, IX, X (10-02), APR-1 and APR-2 capacities on INSAT-2E and SINOSAT-1, respectively. Users should bear in mind that earth stations working normally with one series of satellites may find it necessary to switch over to another series under certain contingency circumstances in order to maintain continuity of service.
- 3.5 The RF subsystem shall be capable of covering the minimum RF transmit and receive bands specified in the modules describing the earth station performance characteristics. For the RF transmit subsystem, this can be accomplished by means of a single power amplifier or by means of narrower band units that are properly combined to provide coverage of the required transmit bandwidth.
- 3.6 It is recommended that the earth station design be such that changes in the transmitted and received RF carrier frequencies can be made easily and without unacceptable interruption of service. It is also recommended that the design be such that expansion can be effected without difficulty.
- 3.7 The reliability of the earth station equipment should be such that the space segment cannot be jeopardized by emissions that are in error due to carrier level, frequency, deviation, synchronism or polarization state. The desired level of station reliability and the extent of provisioning standby equipment is a matter for decision by individual users in the light of their particular circumstances. It should be noted, however, that failures can affect large numbers of circuits and numerous distant countries. It is therefore believed that, in their own interests, users will wish to engineer their equipment so that a very high standard of reliability is achieved. Experience has shown that, except in special circumstances, at least 99.8 percent can readily be attained.
- 3.8 It is stressed that while the required characteristics of a standard earth station have been determined on the basis of its ability to provide a channel performance consistent with ITU-recommended standards, the actual performance achieved may be dependent upon local climatic conditions. After considering the statistics of the local climatic conditions, and any particular service requirements, users will be in a position to determine whether the earth station will need to have enhanced standards of performance.

4. INTELSAT EARTH STATION STANDARDS POLICY

The following is Intelsat's policy with respect to the consideration and adoption of proprietary technology in the Intelsat Earth Station Standards (IESS):

- 4.1 It is Intelsat's general policy to maintain non–proprietary IESS specifications;
- 4.2 It is the responsibility of the entity submitting a specification for consideration to advise Intelsat if the proposed specification includes known patented or other proprietary technology. Prior to consideration of such proprietary technology, the owner shall agree to place those proprietary rights necessary for the implementation of the applicable specification in the public domain or to grant, upon request, a royalty–free license to those proprietary rights necessary for the implementation of the applicable specification, to all interested persons or entities on a worldwide, non–discriminatory basis. Such licenses may, on the technology owners' request, be subject to the grant of a cross–license for relevant technology owned by the licensee; and
- 4.3 The adoption of patented or other proprietary technology on a basis other than that described above may, in exceptional circumstances, be considered by Intelsat.
- 4.4 Any conditions on the manufacture, use or sale of equipment necessary to implement the IESS specifications adopted pursuant to paragraphs 4.2 and 4.3 above shall be clearly documented in the IESS.
- 4.5 Where appropriate, Intelsat will undertake a due diligence review of patent rights in the technology being recommended for adoption in the IESS.

Table 1

DOCUMENTS COMPRISING THE IESS

Group 1 – INTRODUCTORY

<u>IESS No.</u>	<u>Title</u>
101	Introduction and Approved IESS Document List

Group 2 – ANTENNA AND RF EQUIPMENT CHARACTERISTICS

<u>IESS No.</u>	<u>Title</u>
207	Standards A, B, F and H – Antenna and Wideband RF Performance Characteristics of Earth Stations Operating in the 6 and 4 GHz Frequency Bands
208	Standards C, E and K – Antenna and Wideband RF Performance Characteristics of Earth Stations Operating in the 14/11 and/or 14/12 GHz Frequency Bands

Group 3* – MODULATION & ACCESS CHARACTERISTICS

<u>IESS No.</u>	<u>Title</u>
307	Intelsat TDMA/DSI System Specification
308	Performance Characteristics for Intermediate Data Rates Digital Carriers Using Convolutional Encoding/Viterbi Decoding and QPSK Modulation (QPSK/IDR)
309	Performance Characteristics for Intelsat Business Services (IBS)
310	Performance Characteristics for Intermediate Data Rates Digital Carriers Using Rate 2/3 TCM/8PSK and Reed–Solomon Outer Coding (TCM/IDR)
311	Performance Characteristics for Demand Assigned Multiple Access (DAMA) Digital Carriers
314	Performance Characteristics for Intelsat Business Services (IBS) Digital Carriers Using Rate 2/3 TCM/8PSK and Reed–Solomon Outer Coding (TCM/IBS)

* IESS modules 301 (FDM/FM), 302 (CFDM/FM), 303 (SCPC/QPSK), 305 (SCPC/CFM) and 306 (TV/FM) were retired on 31 October 2002.

Group 3 – MODULATION & ACCESS CHARACTERISTICS (Cont'd)

<u>IESS No.</u>	<u>Title</u>
315	Performance Characteristics for VSAT Service Using Turbo Coding With QPSK / OQPSK Modulation
316	Performance Characteristics For Digital Carriers Using 16QAM Modulation
317	Intelsat TDMA/DDI System Specification

Group 4* – SUPPLEMENTARY

<u>IESS No.</u>	<u>Title</u>
401	Performance Requirements for Intermodulation Products Transmitted from Intelsat Earth Stations (6 and 14 GHz Frequency Bands)
402	Earth Station EIRP Adjustment Factors to Account for Satellite Antenna Pattern Advantage and Path Loss Differential with Elevation Angle (K1 and K2)
408	Intelsat VI Satellite Characteristics
409	Intelsat VII Satellite Characteristics
410	Intelsat Space Segment Leased Transponder Definitions and Associated Operating Conditions
411	Requirements For Earth Stations Accessing Intelsat VA Satellites Having Higher Than Nominal Orbital Inclination (Operating In A Contingency Mode Or With Satellites At Designated Inclined Orbit Locations)
412	Earth Station Pointing Data
415	Intelsat VIIA Satellite Characteristics
417	Intelsat VIII Satellite Characteristics
418	Intelsat VIIIA Satellite Characteristics
419	Performance Characteristics for 139.264 Mbit/s PDH and 155.52 Mbit/s SDH High Data Rate (HDR) Digital Carriers

* IESS–403 (ESC) was retired on 31 October 2002.
IESS–406 (VA Description) was retired on 6 October 2003; all modules affected by this retirement will be modified in the near future.

Group 4 – SUPPLEMENTARY (Cont'd)

<u>IESS No.</u>	<u>Title</u>
420	Intelsat APR–1 Capacity on INSAT–2E
422	Intelsat IX Satellite Characteristics
423	Intelsat APR–2 Capacity on SINOSAT–1
424	Intelsat 10–02 Satellite Characteristics

Group 5 – BASEBAND PROCESSING

<u>IESS No.</u>	<u>Title</u>
501	Digital Circuit Multiplication Equipment* Specification 32 kbit/s ADPCM with DSI
502	Not used
503	Performance Characteristics for Open-Network Digital Television Transmission

Group 6 – GENERIC EARTH STATION STANDARDS

<u>IESS No.</u>	<u>Title</u>
601	Standard G – Performance Characteristics for Earth Stations Accessing the Intelsat Space Segment for International and Domestic Services not Covered by Other Earth Station Standards

Group 7 – INTELSAT–MANAGED TELECOMMUNICATIONS NETWORKS

<u>IESS No.</u>	<u>Title</u>
701	Performance Requirements for the Internet Trunking Service (ITS)
702	Dedicated Video Solutions (DVS) Service (Space Segment Only)

* See footnote (*) on the DCME following Table A.1 of Appendix A.

Table 2*

IESS MODULE COMBINATIONS AVAILABLE TO DESCRIBE INTELSAT
PERFORMANCE CHARACTERISTICS

Doc. No. †‡	Doc. Title	Earth Station Standard							
		A	B	C	E	F	G	H	K
101	Introduction	X	X	X	X	X	X	X	X
207	Std. A, B, F & H	X	X			X		X	
208	Std. C, E & K			X	X				X
307	TDMA	X							
308	QPSK/IDR	X	X	X	X	X			
309	IBS	X	X	X	X	X		X	X
310	TCM/IDR	X	X	X	X	X			
311	DAMA	X	X			X		X	
314	TCM/IBS	X	X	X	X	X			
315	VSAT Turbo	X	X	X	X	X		X	X
316	16QAM	X	X			X			
317	Low–Cost TDMA	X	X						
401	IM Criteria	X	X	X	X	X		X	X
402	EIRP Adj. Factor	X	X	X	X	X		X	X
408	VI Description	X	X	X	X	X	X	X	X
409	VII Description	X	X	X	X	X	X	X	X
410	Lease Definitions						X		
411	Inclined Orbit	X	X	X	X	X	X		
412	E.S. Pointing Data	X	X	X	X	X	X	X	X
415	VIIA Description	X	X	X	X	X	X	X	X

* **NOTE:** This table shows the combinations of modules for which parameters are currently provided within the IESS documents. The table is not intended to fully identify the various connectivities that may develop.

† IESS modules 301 (FDM/FM), 302 (CFDM/FM), 303 (SCPC/QPSK), 305 (SCPC/CFM), 306 (TV/FM) and 403 (ESC) were retired on 31 October 2002.

‡ IESS–406 (VA Description) was retired on 6 October 2003; all modules affected by this retirement will be modified in the near future.

Table 2 (Continued)

IESS MODULE COMBINATIONS AVAILABLE TO DESCRIBE INTELSAT
PERFORMANCE CHARACTERISTICS

Doc. No.	Doc. Title	Earth Station Standard							
		A	B	C	E	F	G	H	K
417	VIII Description	X	X	X	X	X	X	X	X
418	VIIIA Description	X	X	X	X	X	X	X	X
419	140 & 155 Mbit/s HDR						X		
420	APR-1 Description						X		
422	IX Description	X	X	X	X	X	X	X	X
423	APR-2 Description	X	X	X	X	X	X	X	X
424	10-02 Description	X	X	X	X	X	X	X	X
501*	DCME	X	X	X	X	X			
502	Not used								
503	Digital TV	X	X	X	X	X		X	
601	Standard G						X		
701	Internet Trunking	X	X	X	X	X		X	X
702	Dedicated Video Solutions						X		

* See footnote (*) on the DCME following Table A.1 of Appendix A.

Table 3

IESS-101 REVISION HISTORY

<u>Revision No.</u>	<u>Approval Date</u>
(Original)	01 Jul 1985
1	12 Mar 1986
2	25 Jun 1986
3	17 Sep 1986
4	11 Dec 1986
5	12 Mar 1987
6	17 Jun 1987
7	16 Sep 1987
8	10 Dec 1987
9	15 Mar 1988
10	14 Dec 1988
11	14 Mar 1989
12	21 Jun 1989
13	12 Sep 1989
14	11 Dec 1989
15	09 Mar 1990
16	13 Jun 1990
17	17 Dec 1990
18	12 Mar 1991
19	09 Dec 1991
20	19 Jun 1992
21	04 Dec 1992
22	22 Feb 1993
23	18 May 1993
24	18 Aug 1993
25	05 Nov 1993
26	09 Feb 1994
27	19 May 1994
28	25 Aug 1994
29	09 Nov 1994
30	29 May 1995

Table 3 (Continued)

IESS-101 REVISION HISTORY

31	15 Aug 1995
32	10 Nov 1995
33	19 Feb 1996
34	16 May 1996
35	20 Aug 1996
36	11 Nov 1996
37	13 Feb 1997
38	16 May 1997
39	18 Aug 1997
40	05 Nov 1997
41	17 Feb 1998
42	18 May 1998
43	30 Nov 1998
44	13 May 1999
45	10 Aug 1999
46	10 Feb 2000
47	11 May 2000
48	11 Aug 2000
49	20 Nov 2000
50	22 May 2001
51	10 Dec 2001
52	13 Feb 2002
53	02 Apr 2002
54	31 Oct 2002
55	15 Nov 2002
56	06 Dec 2002
57	20 Dec 2002
58	31 Jan 2003
59	28 Apr 2003
60	24 Oct 2003
61	16 Jan 2004

APPENDIX A to
IESS-101 (Rev. 61)
Page A-1

Table A.1

INTELSAT EARTH STATION STANDARDS (IESS)
CURRENTLY APPROVED DOCUMENT LIST

<u>Abbreviated Title*</u>	<u>Document No:</u>	<u>Approval Date</u>
Introduction	101 Rev. 61	16 Jan 2004
Standards A, B, F & H	207 Rev. 5	07 Oct 2002
Standards C, E & K	208 Rev. 6	07 Oct 2002
TDMA	307, Rev. A & Rev. B	12 Mar 1987, 10 Dec 1987 & 12 Mar 1991
QPSK/IDR	308 Rev. 11	31 Jan 2003
IBS	309 Rev. 8	24 Oct 2003
TCM/IDR	310 Rev. 3	31 Jan 2003
DAMA	311 Rev. 2	24 Oct 2003
TCM/IBS	314 Rev. 1	16 Jan 2004
VSAT Turbo	315	20 Dec 2002
16QAM	316	24 Oct 2003
Low-Cost TDMA	317 Rev. 1	16 Jan 2004
IM Criteria	401 Rev. 7	16 Oct 2002
EIRP Adj. Factor	402 Rev. 8	16 Oct 2002
VI Description	408 Rev. 7	06 Dec 2002
VII Description	409 Rev. 5	06 Dec 2002
Lease Definitions	410 Rev. 10	24 Oct 2003
Inclined Orbit	411 Rev. 4	01 Oct 2002
Earth Station Pointing Data	412 Rev. 2	06 Dec 2002
VIIA Description	415 Rev. 3	01 Oct 2002
VIII Description	417 Rev. 2	06 Dec 2002

* IESS-406 (VA Description) was retired on 6 October 2003; all modules affected by this retirement will be modified in the near future.

Table A.1 (Continued)

INTELSAT EARTH STATION STANDARDS (IESS)

CURRENTLY APPROVED DOCUMENT LIST

<u>Abbreviated Title*</u>	<u>Document No:</u>	<u>Approval Date</u>
VIIIA Description	418 Rev. 3	20 Dec 2002
140 & 155 Mbit/s HDR	419 Rev. 2	20 Dec 2002
APR–1 Description	420 Rev. 3	20 Dec 2002
IX Description	422 Rev. 2	16 Oct 2002
APR–2 Description	423 Rev. 1	20 Dec 2002
10–02 Description	424	24 Oct 2003
DCME	501 Rev. 3*	04 Dec 1992
Not used†	502	Not used
Digital TV	503 Rev. 3A	31 Jan 2003
Standard G	601 Rev. 11	08 Oct 2002
Internet Trunking	701	01 Oct 2002
Dedicated Video Solutions	702	28 Apr 2003

* Although DCME is still used in the Intelsat system, IESS–501 is no longer being updated or distributed since its contents have been subsumed under ITU–T Recommendations G.763 and G.766. Users should, therefore, refer to these ITU Recommendations instead for the DCME performance requirements.

† IESS–502 is not used in order to maintain correspondence with the SSOG numbering system that has already allocated this number for FDM/FM Multiplex (this subject is not specifically addressed in the IESS modules).



INTELSAT EARTH STATION STANDARDS (IESS)

Document IESS–207 (Rev. 4)

STANDARDS A, B, F and H

ANTENNA AND WIDEBAND RF PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF
C–BAND EARTH STATIONS ACCESSING THE INTELSAT SPACE SEGMENT

(6 and 4 GHz Frequency Bands)

Approval Date: 10 March 2005

All of the information contained in these IESS documents are considered proprietary and confidential to Intelsat Global Service Corporation and its affiliates. You (1) must maintain this information as confidential, (2) may not use the information for any purposes other than for Intelsat's system, and (3) may not disclose such information to any third party without the express written consent of Intelsat Global Service Corporation. Intelsat and its affiliates disclaim all responsibility for unauthorized use or distribution of this information.

INTELSAT C–BAND EARTH STATION STANDARDS (IESS)
STANDARDS A, B, F and H
(6 and 4 GHz Frequency Bands)

1. ANTENNA SYSTEM*

For the purposes of this IESS module the term RFP (request for proposal) is considered to include any document specifying contractual performance characteristics.

1.1 Gain–to–Noise Temperature Ratio

INTELSAT has developed this IESS module for earth stations that would meet one of eight minimum G/T values†. The selection of a Standard A, B, F–1, F–2, F–3, H–2, H–3, or H–4‡ earth station will depend upon User requirements with respect to site location, traffic volume, and the channel performance.

- Approval of an earth station in an INTELSAT Standard category§ will only be obtained if one of the minimum conditions of Table 1 are met in the direction of the
- satellite and for the polarizations chosen for each satellite series (see Paragraph 1.3)
- under clear sky conditions, in light wind, and for any frequency in the frequency
- bands defined in Paragraph 2.2.

- Such approval will be limited to angles of operation for which the above condition
- is satisfied. Therefore, the User should bear in mind that the earth station may need to be modified before permission is given to operate with satellites

* Because of the difficulties associated with the testing of small aperture antennas, Standard H Users are strongly urged to consider the advantages of utilizing an INTELSAT type accepted antenna.

† Beginning with the adoption of IESS–207 (Rev. 3) INTELSAT discontinued classifying earth stations with the designation Standard D. Existing Standard D earth stations must meet the requirements contained in IESS–207 (Rev. 2).

‡ The designation Standard H–1 has been reserved for future use.

§ The designation of Standard A, B, F, or H is applicable to linear polarized earth stations operating with INTELSAT VIIIA. Earth stations are categorized as A, B, F, or H on the basis of G/T performance, as well as compliance with the other specifications contained in this module.

seen at different angles of elevation. Although antennas with elevation angles operating below 5° do not qualify as Standard earth stations, they will be considered on a case-by-case basis.

During adverse climatic conditions, such as rain, snow, strong winds, etc., the nominal performance may not necessarily be met. The percentage of time during which this occurs will depend, inter alia, upon the statistics of the local weather, upon antenna performance characteristics, and upon the relationship between the weather parameters and the channel performance.

If the local weather parameters are known in sufficient detail, then, for a particular station design, a reasonable estimate of channel performance statistics can be made. Where such estimates show that an earth station with the minimum G/T required might not permit the performance criteria given in the applicable ITU–R recommendations identified in the I ESS–300 series modules to be met, Users should give serious consideration to a station of higher performance.

The preferred method of determining the G/T of an earth station is by radio star measurement whenever feasible, and, where possible, at a high elevation angle. Correction for the operating elevation angle can then be performed through the system noise temperature (T) profile. For G/T determination in the case of earth stations with limited antenna steering capability, or for small aperture antennas, separate measurements of the antenna gain (G), and the system noise temperature (T) can be employed. For radio star measurements, Cassiopeia A, Taurus A, and Cygnus A are recommended sources. For either method of G/T determination, appropriate correction factors should be applied. A discussion of G/T measurement methods, sources of measurement error, and measurement correction factors may be found in Rec. ITU–R S.733–1. Additional information on measurement methods, source characteristics, and correction factors is also available in the INTELSAT SSOG.

1.2 Antenna Radiation Patterns

1.2.1 General

In a continuing effort to promote the efficient utilization of the geostationary orbit while maintaining a reasonable interference budget, INTELSAT has established the long term objective of bringing all of its antennas within a specification consistent with the ITU–R recommendations. Users should take

this factor into account when considering modifications such as alteration of their antenna feeds for polarization purity or increased bandwidth.

1.2.2 Minimum Transmit Antenna Main Beam Gain

- The transmit main beam gain of the antenna measured at the antenna feed must be
- adequate to satisfy the off-axis emission EIRP density criteria of Rec. ITU–R S.524–5. Users should refer to the IESS–300 series for guidance in meeting this requirement.

In designing the transmit subsystem, trade-offs between various parameters such as antenna transmit gain, sidelobe patterns, HPA size and high power combining arrangements should be considered.

1.2.3 Antenna Sidelobes

- Sidelobe levels are referred to the gain of an isotropic antenna and shall meet the
- criteria defined in the following subsections.
- These requirements shall be met within any frequency defined in Paragraph 2.2 and
- for any direction which is within 3° of the geostationary arc.

The following definitions apply to these requirements:

G = gain of the sidelobe envelope relative to an isotropic antenna in the direction of the geostationary orbit, in dBi.

θ = angle in degrees between the main beam axis and the direction considered.

90 percent = the total number of peaks within the orbital boundaries defined by Rec. ITU–R S.580–5.

1.2.3.1 Transmit Sidelobe Design Objective (Standard B, F, and H Antennas with an RFP Issued Prior to 1996^{*)}

It is recommended that the gain of 90 percent of the copolarized and crosspolarized sidelobe peaks not exceed an envelope described by (Rec. ITU-R S.465-5 and ITU-R S.580-5):

$$\begin{array}{llll}
 G = 29 - 25 \log_{10} \theta \text{ dBi}, & 1^\circ * & & \theta & & 20^\circ \\
 G = -3.5 \text{ dBi}, & 20^\circ & < & \theta & & 26.3^\circ \\
 G = 32 - 25 \log_{10} \theta \text{ dBi}, & 26.3^\circ & < & \theta & < & 48^\circ \\
 G = -10 \text{ dBi}, & 48^\circ & & \theta & &
 \end{array}$$

1.2.3.2 Transmit Sidelobe Mandatory Requirements

a) Standard A

Antennas with a RFP Issued Prior to 12 March 1986

At angles greater than 1° away from the main beam axis, it is required that the gain of 90 percent of the copolarized and crosspolarized sidelobe peaks not exceed an envelope described by:

$$\begin{array}{llll}
 G = 32 - 25 \log_{10} \theta \text{ dBi}, & 1^\circ & & \theta & < & 48^\circ \\
 G = -10 \text{ dBi}, & 48^\circ & & \theta & &
 \end{array}$$

Antennas with a RFP Issued After 11 March 1986

At angles greater than 1° away from the main beam axis, it is required that the gain of 90 percent of the copolarized and crosspolarized sidelobe peaks not exceed an envelope described by:

$$G = 29 - 25 \log_{10} \theta \text{ dBi}, \quad 1^\circ \quad \theta \quad 20^\circ$$

* This design objective is identical to the mandatory sidelobe requirements for antennas with an RFP issued after 1995.

* For D/λ below 100, this angle becomes $100 \lambda / D$ Degrees.

$$\begin{array}{l}
 G = -3.5 \text{ dBi}, \quad 20^\circ < \theta < 26.3^\circ \\
 G = 32 - 25 \log_{10} \theta \text{ dBi}, \quad 26.3^\circ < \theta < 48^\circ \\
 G = -10 \text{ dBi}, \quad 48^\circ < \theta
 \end{array}$$

b) Standards B and F

Antennas Having An RFP Issued Prior To 1996

At angles greater than 1° away from the main beam axis, it is required that the gain of 90 percent of the copolarized and crosspolarized sidelobe peaks

not exceed an envelope described by:

$$\begin{array}{l}
 G = 32 - 25 \log_{10} \theta \text{ dBi}, \quad 1^\circ < \theta < 48^\circ \\
 G = -10 \text{ dBi}, \quad 48^\circ < \theta
 \end{array}$$

Antennas Having an RFP Issued After 1995

At angles greater than 1° away from the main beam axis, it is required that the gain of 90 percent of the copolarized and crosspolarized sidelobe peaks not exceed an envelope described by:

$$\begin{array}{l}
 G = 29 - 25 \log_{10} \theta \text{ dBi}, \quad 1^\circ < \theta < 20^\circ \\
 G = -3.5 \text{ dBi}, \quad 20^\circ < \theta < 26.3^\circ \\
 G = 32 - 25 \log_{10} \theta \text{ dBi}, \quad 26.3^\circ < \theta < 48^\circ \\
 G = -10 \text{ dBi}, \quad 48^\circ < \theta
 \end{array}$$

c) Standard H

Antennas Having An RFP Issued Prior To 1996

At angles greater than $100 \lambda / D$ away from the main beam axis it is required that the gain of 90 percent of the copolarized and crosspolarized sidelobe peaks not exceed an envelope described by:

* For D/λ below 100, this angle becomes $100 \lambda / D$ Degrees

$$G = 32 - 25 \log \theta \text{ dBi}, \quad 100 \frac{\theta}{D} \leq \theta < 48$$

$$G = -10 \text{ dBi}, \quad 48 \frac{\theta}{D} \leq \theta$$

Antennas Having an RFP Issued After 1995

At angles greater than $100 \frac{\theta}{D}$ away from the main beam axis it is required that the gain of 90 percent of the copolarized and crosspolarized sidelobe peaks not exceed an envelope described by:

$D/\theta < 50$

$$G = 32 - 25 \log \theta \text{ dBi}, \quad 100 \frac{\theta}{D} \leq \theta < 48$$

$$G = -10 \text{ dBi}, \quad 48 \frac{\theta}{D} \leq \theta$$

$D/\theta \geq 50$ (Rec. ITU-R S.580-5 and Rec. ITU-R S.465-5)

$$G = 29 - 25 \log \theta \text{ dBi}, \quad 100 \frac{\theta}{D} \leq \theta \leq 20$$

$$G = -3.5 \text{ dBi}, \quad 20 \frac{\theta}{D} \leq \theta \leq 26.3$$

$$G = 32 - 25 \log \theta \text{ dBi}, \quad 26.3 \frac{\theta}{D} \leq \theta < 48$$

$$G = -10 \text{ dBi}, \quad 48 \frac{\theta}{D} \leq \theta$$

1.2.3.3 Receive Sidelobes

In order to protect receive signals from interference arising elsewhere, restrictions should also be placed on the receive sidelobe characteristics. Therefore, while not mandatory, it is recommended that the transmit sidelobe characteristics apply to the receive band as well.

Unless other agreements have been negotiated, interference protection will be afforded only to the following sidelobe envelopes:

(a) Standard A

Antennas with RFP Issued Prior to 12 March 1986

$$G = 32 - 25 \log_{10} \theta \text{ dBi}, \quad 1 \frac{\theta}{D} \leq \theta < 48$$

$$G = -10 \text{ dBi}, \quad 48 \frac{\theta}{D} \leq \theta$$

Antennas with an RFP Issued After 11 March 1986

$G = 29 - 25 \log_{10} \theta$ dBi,	$1 \square$	\square	θ	\square	$20 \square$
$G = -3.5$ dBi,	$20 \square$	$<$	θ	\square	$26.3 \square$
$G = 32 - 25 \log_{10} \theta$ dBi,	$26.3 \square$	$<$	θ	$<$	$48 \square$
$G = -10$ dBi,	$48 \square$	\square	θ		

(b) Standards B and F

Antennas with an RFP Issued Prior To 1996

$G = 32 - 25 \log_{10} \theta$ dBi,	$1 \square$	\square	θ	$<$	$48 \square$
$G = -10$ dBi,	$48 \square$	\square	θ		

Antennas with an RFP Issued After 1995

$G = 29 - 25 \log_{10} \theta$ dBi,	$1 \square$	\square	θ	\square	$20 \square$
$G = -3.5$ dBi,	$20 \square$	$<$	θ	\square	$26.3 \square$
$G = 32 - 25 \log_{10} \theta$ dBi,	$26.3 \square$	$<$	θ	$<$	$48 \square$
$G = -10$ dBi,	$48 \square$	\square	θ		

(c) Standard H

Antennas with an RFP Issued Prior To 1996

$G = 32 - 25 \log \theta$ dBi,	$100 \square/D \square$	\square	θ	$<$	
	$48 \square$				
$G = -10.0$ dBi,	$48 \square$	\square	θ		

Antennas with an RFP Issued After 1995

$D/\square < 50$

$G = 32 - 25 \log \theta$ dBi,	$100 \square/D \square$	\square	θ	$<$	
	$48 \square$				
$G = -10$ dBi,	$48 \square$	\square	θ		

$D/\square \square 50$

$$\begin{array}{l}
 G = 29 - 25 \log \theta \text{ dBi,} \quad 100 \text{ } \square / D \text{ } \square \quad \square \quad \theta \quad \square \\
 20 \text{ } \square \\
 G = -3.5 \text{ dBi,} \quad 20 \text{ } \square \quad < \quad \theta \quad \square \quad 26.3 \text{ } \square \\
 G = 32 - 25 \log \theta \text{ dBi,} \quad 26.3 \text{ } \square \quad < \quad \theta \quad < \quad 48 \text{ } \square \\
 G = -10 \text{ dBi,} \quad 48 \text{ } \square \quad \square \quad \theta
 \end{array}$$

For $\theta < 100 \text{ } \square / D \text{ } \square$ off-axis gain will be computed based on the antenna model contained in Annex III to Appendix 29 of the Radio Regulations.

1.2.3.4 Wide Angle Sidelobe Data

It is requested that the User submit wide angle sidelobe data to INTELSAT in advance of earth station verification tests via the satellite. These data might include, for instance, measurements on the antenna obtained on site using a boresight, or measurements made on an antenna of the same design on a test range at another location. Such data will be used to substantiate antenna performance beyond the off-beam angles which can be measured using INTELSAT facilities.

1.3 Polarization

1.3.1 Earth Station Transmit and Receive Polarization Sense

- Earth station polarization requirements for operation in the 6/4 GHz frequency bands
- are shown in Tables 2(a) and 2(b). Earth stations are required to operate with the
- appropriate polarization sense for each beam*. In addition, earth stations shall be
- capable of meeting the following requirements:

- (a) Standards A and B

* Senses of polarization (i.e. left hand circular, right hand circular) are defined for circularly polarized signals in ITU Radio Regulation Article 1 Nos. 148 and 149. Users are referred to the IESS 400 series modules for a discussion on the definition of senses of polarization of linearly polarized signals and the dependence of the orientation of such signals on the earth station geographic position.

■ For both the uplink and downlink frequency bands, Standard A and B earth stations shall be capable of operating in both senses of polarization simultaneously*. Standard A and B earth stations will be required to certify the performance of the antenna in both polarizations senses. This will require the antenna to be equipped with a four port feed. The need to equip for operation (e.g., HPA, LNA, etc.) in both polarizations, however, will be governed by operational requirements.

(b) Standards F and H

■ For both the uplink and downlink frequency bands, Standard F and H earth stations shall be capable of operating in any designated transponder in any polarization sense. However, simultaneous operation in both senses of polarization will not be required, neither for the uplink nor for the downlink.

1.3.2 Earth Station Transmit and Receive Axial Ratio

■ Earth stations shall meet the following axial ratio requirements across the full minimum bandwidth described in Paragraph 2.2.

For test purposes, the tracking beamwidth of a Standard A antenna is defined as a box formed by ± 0.02 degree elevation and azimuth offsets from beam center.

1.3.2.1 Circularly Polarized Antennas

(a) Standards A and B

Antennas Operating On INTELSAT VA, VI, VII, VIIIA, VIII and IX

■ For operation on INTELSAT VA, VI, VII, VIIIA, VIII and IX satellites,

* Both polarization senses simultaneously is defined as RHCP and LHCP simultaneously or linear horizontal and linear vertical simultaneously. Antennas accessing INTELSAT VIIIA are required to have linear polarization capability only.

■ all antennas shall meet the axial ratio requirements described below,
as
■ appropriate, since these satellites are dual-polarized.

Retrofitted Antennas, Frequency Reuse*

■ The voltage axial ratio for transmission shall not exceed 1.09 (27.3 dB
■ polarization isolation) within a cone defined by the antenna tracking
and/or
■ pointing errors; however, the design goal is 1.06 (30.7 dB polarization
■ isolation). It is recommended that this axial ratio not be exceeded for
reception.

New Antennas, Frequency Reuse

■ The voltage axial ratio for transmission shall not exceed 1.06 (30.7 dB
■ polarization isolation) within a cone defined by the antenna tracking
and/or
■ pointing errors. It is recommended that this axial ratio not be
exceeded for reception.

New antennas for the purpose of the above paragraph are considered to be those which have a RFP (or similar document specifying contractual performance characteristics) issued after August 1977.

(b) Standard F

■ The voltage axial ratio of transmission in the direction of the satellite
shall
■ not exceed 1.09 (27.3 dB polarization isolation) within a cone defined
by the
■ antenna tracking and/or pointing errors; however, the design objective
is 1.06
■ (30.7 dB polarization isolation). It is recommended that this axial ratio
not be exceeded for reception.

* With regard to frequency planning and system operation of retrofitted Standard A and B antennas, INTELSAT will assume that a voltage axial ratio of 1.06 is met in the transmit and receive bands.

(c) Standard H

- The voltage axial ratio of transmission in the direction of the satellite shall
- not exceed 1.09 (27.3 dB polarization discrimination) for Standard H-4
- and
- 1.3 (17.7 dB polarization discrimination) for Standards H-3 and H-2
- within a
- cone defined by the antenna tracking and/or pointing errors. The design goal is 1.09 for Standards H-3 and H-2. It is recommended that these axial ratios not be exceeded for reception.

1.3.2.2 Linearly Polarized Antennas (INTELSAT VIIIA)

(a) Standards A, B and F-3

- The voltage axial ratio of transmission in the direction of the satellite shall
- not be less than 31.6 (30.0 dB polarization discrimination) within a
- cone
- defined by the antenna tracking and/or pointing errors. It is recommended that this axial ratio be exceeded for reception.

(b) Standards F-2, F-1, H-4, H-3 and H-2

- The voltage axial ratio of transmission in the direction of the satellite shall
- not be less than 22.4 (27.0 dB polarization discrimination) within a
- cone
- defined by the antenna tracking and/or pointing errors, however, the design
- objective is 31.6 (30 dB polarization isolation). It is recommended that this axial ratio be exceeded for reception.

1.3.3 Polarization Orientation Of Linearly Polarized Antennas (INTELSAT VIIIA)

1.3.3.1 Faraday Rotational Effects

Faraday rotation affects linearly polarized waves passing through the ionosphere. The effect of Faraday rotation is a decrease in the cross

polarization discrimination. Because the magnitude of Faraday rotation varies as $1/f^2$, the effect is not as significant a consideration at Ku-band. At C-band, however, the $1/f^2$ dependence makes Faraday rotation an important consideration, particularly on the downlink.

The magnitude of the Faraday rotation depends on frequency, latitude, elevation angle, direction of propagation, the position of the sun relative to the earth station and solar flare activity. Faraday rotation has a distinct diurnal variation pattern which can lead to a diurnal variation in crosspolarization isolation. The diurnal variations become larger in years of high sun spot activity and during the equinox periods of all years.

Automated techniques to compensate for, or to minimize, the effect of Faraday rotation do exist and are similar to those used to compensate for rain depolarization. Faraday rotation effects can, also, be minimized by applying a fixed feed rotation equal to one half the expected diurnal variation. It is not possible, however, to select a fixed, pre-set rotational compensation that is adequate for all sun spot activity periods. Rather the rotational compensation must be set on a yearly or seasonal basis.

Users using linear polarization in C-band are urged to consider feed designs which would permit, if necessary, feed rotational compensation. Users of large earth stations should also consider feed designs which can accommodate an automated compensation network. As the direction of Faraday rotation is opposite on the uplink and downlink, feed designs which permit independent adjustment of the uplink and downlink are highly desirable.

1.3.3.2 Required Linear Polarization Orientation Accuracy

- It is required that the earth station feed be able to match the spacecraft polarization
- angle within 1 degree under clear-weather conditions. This requirement does not
- apply to earth stations employing Faraday rotation compensation.

Because of the diurnal variation of Faraday rotation, it is recommended that the antenna feed be aligned during the time period immediately preceding local sunrise. If possible, feeds should be aligned during the time period within one month of a solstice. Alignment of feeds during the period within one month of an equinox should be avoided when possible. It is

recommended that the orientation of feeds aligned during periods other than the solstice be realigned during the next solstice period.

1.3.4 Rain Depolarization Compensation for Standard A and B Antennas (Linearly or Circularly Polarized Antennas)

Although the frequency plans established for INTELSAT satellites provide margin for rain depolarization, there may be a few geographical areas where propagation statistics indicate additional measures are necessary in order to compensate for rain depolarization on both the up and down link and for both polarizations. If rain depolarization statistics indicate that the isolation between polarizations is expected to be worse than 12 dB for 0.01% of the year in the uplink, the earth station should consider the use of a compensating network, particularly on the uplink and on links having low elevation angles. Compensation on the uplink is more critical than on the downlink in view of the potential for co-channel interference to other Users.

Earth stations in this category should, as a minimum, be constructed in a manner which allows the addition of a compensating network, should it become required in the future. Experimental observations indicate that an adequate degree of compensation for the depolarization effects can be achieved by means of a single parameter technique, in this case differential phase. The recommended threshold at which depolarization compensation is initiated during a rain event is at 5 dB below the clear sky isolation. A settling time in the order of 1 second is considered adequate for the majority of the depolarization events caused by rain. Occasionally, lightning discharges can cause abrupt changes in depolarization due to ice crystals which tend to align with the electric field prior to discharge. Approximately 1 second is, typically, required for such abrupt changes to be tracked accurately by a compensation network. Operation of a compensating network should not disturb the antenna tracking.

In developing frequency plans, INTELSAT will attempt to avoid the need for an adaptive network whenever possible.

1.4 Antenna Steering or Beam Positioning

1.4.1 Antenna or Beam Steerability

- Automatic or manual steering shall be capable of changing the antenna pointing to be
- compatible with geostationary satellites at orbital locations within the intended ocean
- region of operation and for which the earth station elevation angle is not less than 5°. Operation below 5° will be reviewed on a case-by-case basis.

INTELSAT satellites are planned for locations within the nominal orbital arcs indicated below:

AOR	=	304.5°	to	359°	E
IOR	=	33°	to	66°	E
APR	=	83°	to	157°	E
POR	=	174°	to	180°	E

Users should consider in their designs the possibility that the above limits of each operating region may change if additional orbital locations are utilized by INTELSAT. Users are strongly encouraged to consider antenna designs which permit the easy reconfiguration of their antenna to operate in all visible regions in order to ensure compatibility with future operational plans.

Operational considerations indicate the desirability of full steering capability. Such capability would permit on-site demonstrations of compliance with mandatory sidelobe levels, and would, in addition, allow future operation with satellites at other locations.

If a natural obstruction prevents full compliance with the above paragraphs, INTELSAT should be contacted by the User during the earth station design stage.

1.4.2 Antenna Steering Data

Beginning in 1992, INTELSAT discontinued routinely providing the pointing angles appropriate to a given satellite for each station. Instead, INTELSAT now provides the parameters necessary for an earth station to compute its own pointing angles. INTELSAT will, on an exceptional basis, continue to provide pointing data when difficulties would be experienced by current stations with the revised approach pending resolution of the difficulty. The User is referred to IESS-412 for details of the computational method.

1.4.3 Tracking Requirements

- Standard A, B, F and H earth stations shall meet the minimum tracking requirements
- contained in Table 3.

Receive-only stations should be designed with a tracking capability consistent with the overall objectives of the User's network, bearing in mind the stationkeeping tolerances INTELSAT intends to employ.

Users need to consider the EIRP stability requirements contained in the IESS-300 series when selecting an antenna tracking system. Tropospheric scintillation can occur in C-band under both adverse weather and clear-weather conditions. The effects of scintillation may be significant on links having elevation angles less than 20°. On links having elevation angles near 5° scintillation effects can be severe. As a consequence of scintillation, antennas employing active tracking on low elevation paths may experience antenna mispointing or may transmit excessive EIRP levels when uplink power control is employed. The use of program track is, therefore, highly recommended on links operating with elevation angles less than 20° for those periods when tropospheric scintillation is severe and is recommended as the primary tracking method for antennas with elevation angles below 10°.

1.4.4 Satellite Stationkeeping Limits

Under nominal conditions, INTELSAT intends to maintain the orbital movements of its satellites to the limits indicated below:

Nominal Stationkeeping

<u>Satellite</u>	<u>North-</u>	<u>East-West</u>
	(degrees)	(degrees)
VA	± 0.1	± 0.1
VI, VII, VIIA, VIII, VIIIA and IX	± 0.05	± 0.05

1.4.5 Satellite Beacon Characteristics

Beacon transmit frequencies for the INTELSAT satellites are shown below:

<u>Satellite</u>	<u>Beacon Frequencies</u> (MHz)
VA and VI	3,947.5 or 3,948.0 and 3,952.0 or 3,952.5
VII, VIIA, VIII, VIIIA and IX	3,947.5 or 3,948.0, 3,950.0, and 3,952.0 or 3,952.5

Only two of the four beacons on each INTELSAT VA and VI satellite can be operated simultaneously; one at the low frequency (3947.5 or 3948.0 MHz) and the other at the high frequency (3952.0 or 3952.5 MHz).

- For autotracking of the INTELSAT VA, and VI series of satellites by means of the
- beacon signals transmitted by these satellites, it is necessary to be able to receive and
- adequately differentiate between each of the four beacon frequencies. It should be noted that two beacon frequencies will normally be used on each satellite at any given time, the choice of which will be determined by INTELSAT. Alternate means for tracking of these satellites may be utilized.

The preferred method of tracking the INTELSAT VII, VIIA, VIII, VIIIA and IX series of satellites is by means of the unmodulated tracking beacon (3,950.0 MHz) since the carrier component of the modulated telemetry beacons will vary in power level as a function of the nature of the information on the beacon. In the event the 3,950.0 MHz beacon should fail, the tracking arrangement of the previous paragraph

would be employed. It is, therefore, necessary to be able to receive and adequately differentiate between each of the INTELSAT VII, VIIA, VIII, VIIIA and IX beacon frequencies.

Additional information on the satellite beacons which may be required in the design of tracking/beacon receivers is provided in the IESS-400 series modules.

2. GENERAL RADIO FREQUENCY REQUIREMENTS

2.1 Satellite RF Bandwidth and Beam Switching Capabilities

Information on the INTELSAT satellites' RF bandwidth and beam switching capabilities is provided in the IESS-400 series which describes each satellite series.

2.2 Transmit and Receive Bandwidth

2.2.1 Feed System and Low Noise Receiving Equipment Bandwidth

INTELSAT carriers can be assigned to any of the available transponders and to any satellite series (as may be necessary for contingency operation or resource

management). For this reason, earth stations are required to be capable of operating over the full extent of the applicable frequency bands as shown in Table 4. To permit operational flexibility the instantaneous bandwidth of the LNA and antenna feed elements shall cover the full bandwidth listed in Table 4. The RF electronics

(i.e., frequency translators, local oscillators, HPAs, etc.) need only be capable of operation, with tuning if necessary, across the applicable bandwidth.

The assignment of Standard F earth stations built prior to 1996* to either Band No. 1 or 2 will be mutually agreed to between the earth station owner, the owner's correspondents, and INTELSAT. Due to the Ku-band connectivity that is available in Band Segment No. 1, preference is normally given to this band. In view of the limited global beam resources, utilization of Band Segment No. 2 will be dealt with on a case-by-case basis (for the global beam transponders in this segment).

Standard F earth stations built prior to 1996 which envision large traffic requirements are encouraged to have the RF equipment designed to operate over the full extent of both band segments.

2.2.2 Requirement for Simultaneous Transmission of Multiple Carriers

Users should anticipate having to transmit multiple carriers, when operating with multiple beam satellites. It may be required that at least one carrier be transmitted to each downlink beam to which access is desired. Additionally, it may be necessary to "dual feed" the same carrier at two different frequencies simultaneously during frequency plan transitioning. Accordingly, to avoid a prolonged service disruption, Users are strongly urged to consider a means of simultaneous transmission of the same carrier at two different frequencies anywhere with the required frequency band listed in Table 4. Global beam capacity will normally be made available only to those earth stations not covered by the other satellite beams in order to maximize the satellite capacity.

2.2.3 Frequency Conversion Equipment

It is recommended that earth stations be equipped with frequency conversion equipment capable of operating anywhere within the bandwidth segments indicated in Table 4, in order to allow operational flexibility during frequency plan transitions and contingency circumstances.

* ■ Standard F earth stations built after 1995 are required to be capable of operating across the 5,925 – 6,425 MHz and 3,700 – 4,200 MHz bands.

Although two 70 MHz frequency converters can be used for multicarrier operation with 72 MHz transponders, Users should consider the use of 140 MHz IF conversion equipment.

2.3 Common Wideband Receiving Amplifier Linearity Requirements

2.3.1 General

It is expected that adequate intermodulation performance will be obtained if the common wideband receiving amplifier meets a two carrier intermodulation specification as follows:

- (a) Input power of each carrier equals 3 dB below expected total receive power level.
- (b) Level of each third–order intermodulation product equals 51 dB below the level of each carrier.

2.3.2 Total Receive Power Flux Density at the Earth's Surface

The maximum expected total receive power flux densities for earth stations are shown in Table 5.

2.4 Amplitude, Group Delay, and Electrical Path Length Equalization

In designing the RF subsystem, consideration should be given to specific amplitude, group delay and electric path length equalization requirements addressed in the applicable modulation/access modules which are intended to be used with the earth station.

3.0 TESTING AND CONTROL REQUIREMENTS

3.1 Test Equipment

The quantity and type of test and measuring equipment provided at an earth station will depend largely upon the wishes of the User and upon the quantities and types of equipment used. All apparatus should be tested and maintained in such a way that the performance requirements described in this document can be measured and assured.

Certain tests and measurements between cooperating pairs of earth stations require compatibility of test equipment.

Specific test equipment requirements which may apply to the various modulation/access techniques are described in the appropriate modules of the IESS.

3.2 Earth Station Control and Monitoring

In view of the numerous earth stations accessing the space segment on a multiple access (simultaneous) basis, any variation in transmit RF frequency, transmit EIRP, and antenna tracking could cause interference with other services or cause hazardous

- conditions in the space segment. Accordingly, it is mandatory that earth stations be
- controlled at all times to avoid such interference.

In addition, bearing in mind the fact that earth stations may be operated on a part time, or reservation basis, the station control facility should be compatible with such operation.

- This requirement is considered to be satisfied when earth stations are attended
- 24–hours per day by operating personnel capable of adjusting frequency, EIRP and
- tracking. In the event stations are not manned on a 24–hour per day–basis, this
- requirement is considered to be satisfied when a positive means is available* (remotely or otherwise) for immediately turning off RF carriers which are interfering
- with services or creating hazardous conditions in the space segment.

- For those earth stations being controlled remotely, the full functionality of the
- Engineering Service Circuits (ESC) must be extended to the control point.

Earth stations should be equipped with means whereby the power of their own transmitted carriers can be measured at some point after the HPA. In

* Available is defined as meaning that a point of contact is available to the IOC, whenever the earth station is operational. Users are strongly encouraged to consider the advantages of 24–hour per day staffing in their operational planning.

In addition, a means should be provided to observe the spectrum of carriers transmitted and received by the earth station, e.g., by means of a spectrum analyzer. In this way, Users will be able to detect malfunctions in their transmitting and receiving equipment.

Users should consider the use of station fault indicators and automatic status reporting. Remote diagnostics should also be considered such that unmanned stations can be remotely controlled and test routines exercised. In addition, it is desirable that unattended earth stations use automatic fail–safe features to cease transmission in the event that the power at the feed input exceeds the nominal value by more than 1.5 dB.

3.3 Engineering Service Circuits (ESC)

The engineering service circuits requirements related to Standard earth stations are provided in the IESS–403 module.

TABLE 1
G/T REQUIREMENTS
(C-band Standard Earth Stations)

<u>Earth Station Standard</u>	<u>Minimum G/T Requirement (1)(2)</u> (dB/K)
A	$35.0 + 20 \log f/4$
B	$31.7 + 20 \log f/4$
F-3	$29.0 + 20 \log f/4$
F-2	$27.0 + 20 \log f/4$
F-1	$22.7 + 20 \log f/4$
H-4	$22.1 + 20 \log f/4$
H-3	$18.3 + 20 \log f/4$
H-2	$15.1 + 20 \log f/4$

NOTES:

- (1) G = antenna gain measured at the input of a low noise amplifier relative to an isotropic radiator,

T = receiving system temperature referred to the input of the low noise amplifier, relative to 1 kelvin, and

f = frequency in GHz.

- (2) These requirements also apply to linearly polarized antennas operating with INTELSAT VIIIA.

TABLE 2(a)
EARTH STATION POLARIZATION REQUIREMENTS TO OPERATE WITH
INTELSAT VA, VI, VII and VIIA SATELLITES (6/4 GHz)

Coverage	INTELSAT VA		INTELSAT VI		INTELSAT VII/VIIA	
	Earth Station Transmit	Earth Station Receive	Earth Station Transmit	Earth Station Receive	Earth Station Transmit	Earth Station Receive
1. Global A	LHCP	RHCP	LHCP	RHCP	LHCP	RHCP
2. Global B	RHCP	LHCP	RHCP	LHCP	RHCP	LHCP
3. West Hemisphere (Hemi 1)* †	LHCP	RHCP	LHCP	RHCP	LHCP	RHCP
4. East Hemisphere (Hemi 2)* †	LHCP	RHCP	LHCP	RHCP	LHCP	RHCP
5. NW Zone (Z1)** ZA†	RHCP	LHCP	RHCP	LHCP	RHCP	LHCP
6. NE Zone (Z3)** ZB†	RHCP	LHCP	RHCP	LHCP	RHCP	LHCP
7. SW Zone (Z2)** ZC†	N/A	N/A	RHCP	LHCP	RHCP	LHCP
8. SE Zone (Z4)** ZD†	N/A	N/A	RHCP	LHCP	RHCP	LHCP
9. C-Spot A	N/A	RHCP	N/A	N/A	LHCP	RHCP
10. C-Spot B	N/A	LHCP	N/A	N/A	RHCP	LHCP

* Hemi 1, Hemi 2, ZA, ZB, ZC, ZD nomenclature applies to INTELSAT VII and VIIA only.

** Z1, Z2, Z3, Z4 nomenclature applies to INTELSAT VI only.

† This indicates the normal mode of operation for INTELSAT VII and VIIA; the inverted mode implies different beams in the East and West, as illustrated in IESS-409.

Notes: LHCP = Left-Hand Circularly Polarized. N/A = Not Applicable on this Spacecraft.
RHCP = Right-Hand Circularly Polarized.

TABLE 2(b)

EARTH STATION POLARIZATION REQUIREMENTS TO OPERATE WITH
INTELSAT VIII, VIIIA and IX SATELLITES (6/4 GHz) (1)

<u>COVERAGE</u>	<u>INTELSAT VIII and IX (1)</u>		<u>INTELSAT VIIIA (1)</u>	
	Earth Station Transmit	Earth Station Receive	Earth Station Transmit	Earth Station Receive
1. Global A	LHCP	RHCP	N/A	N/A
2. Global B	RHCP	LHCP	N/A	N/A
3. Hemi 1(2)	LHCP	RHCP	N/A	N/A
4. Hemi 2(2)	LHCP	RHCP	N/A	N/A
5. Zone 1	RHCP	LHCP	N/A	N/A
Zone 2	RHCP	LHCP	N/A	N/A
Zone 3	RHCP	LHCP	N/A	N/A
Zone 4	RHCP	LHCP	N/A	N/A
Zone 5 (4)	RHCP	LHCP	N/A	N/A
6. Hemi A(3)	N/A	N/A	HPOL	VPOL
7. Hemi B(3)	N/A	N/A	VPOL	HPOL

NOTES:

- (1) N/A = Not Applicable
RHCP = Right Hand Circularly Polarized LHCP = Left Hand Circularly Polarized
VPOL = Vertically Linearly Polarized HPOL = Horizontal Linearly Polarized
- (2) The INTELSAT VIII may be operated in the normal or inverted attitude. In the AOR and IOR Hemi 1 corresponds to the West Hemi and Hemi 2 to the East Hemi. In the POR the INTELSAT VIII will be operated in the inverted mode and, therefore, Hemi 1 corresponds to the East Hemi and Hemi 2 to the West Hemi.
- (3) The INTELSAT VIIIA Hemi A and Hemi B coverages are coincident.
- (4) Applicable to INTELSAT IX with 5 Zone mode only.

TABLE 3

MINIMUM TRACKING REQUIREMENTS
(C-Band Standard Earth Stations)

<u>Earth Station Standard (1)</u>	<u>VA</u>	<u>VI, VII, VII, VIIA, VIII, VIIIA and IX</u>
A (2)	Manual and Autotrack	Manual and Autotrack
B (2)	Manual and Autotrack	Manual and Autotrack
F-3 (5)	Autotrack	"Fixed" Antenna (3)(6)(7)
F-2 (5)	Manual E/W only (5) (Weekly Peaking)	"Fixed" Antenna (3)
F-1 (3)(5)	"Fixed" Antenna (4)	"Fixed" Antenna
H-4	"Fixed" Antenna (4)	"Fixed" Antenna
H-3	"Fixed" Antenna (4)	"Fixed" Antenna
H-2	"Fixed" Antenna (4)	"Fixed" Antenna

NOTES: See next page.

NOTES TO TABLE 3

- (1) The minimum tracking requirements are subject to the earth station meeting the axial ratio requirements of paragraph 1.3.2.
- (2) Users are urged to include in their designs a provision to add program steering.
- (3) "Fixed" antenna mounts will still require the capability to be steered from one satellite position to another, as dictated by operational requirements (typically once or twice every 2 to 3 years). These antennas should also be capable of being steered at least over a range of ± 5 degrees from beam center for the purpose of verifying that the antenna pointing is correctly set toward the satellite, and for providing a means of verifying the sidelobe characteristics in the range.
- (4) Standard F-2, F-1, H-4, H-3, and H-2 Users should consider the possible need to upgrade the earth station with manual or autotrack systems in the event it becomes necessary to operate with satellites having higher than nominal inclination.
- (5) ■ These minimum requirements apply to Standard F earth stations which either transmit or
■ transmit and receive.
- (6) ■ Standard F-3 users are encouraged to consider autotrack designs. Earth stations using
■ fixed antennas must meet all specifications of this document irrespective of the satellite position within the box defined by nominal stationkeeping limits.
- (7) Standard F-3 users should take into consideration their tracking requirements under contingency operation with another satellite series.

TABLE 4
MINIMUM BANDWIDTH REQUIREMENTS FOR STANDARD A, B, F, and H EARTH STATIONS

<u>Earth Station Standard</u>	<u>Satellite</u>	<u>Earth Station Type (1)</u>	<u>Earth Station Transmit Band (MHz)</u>	<u>Earth Station Receive Band (MHz)</u>	<u>Tx & Rcv Bandwidth (MHz)</u>	<u>Notes</u>
A, B	All	Existing	5,925 – 6,425	3,700 – 4,200	500	
	VA, VII, VIIA	New	5,925 – 6,425	3,700 – 4,200	500	
	VI, VIII, IX	New	5,850 – 6,425	3,625 – 4,200	575	(2)(3)
	VIIIA	New	5,850 – 6,650	3,400 – 4,200	800	(2)(3)
F-1, F-2, F-3	All	Existing	5,925 – 6,256 (Band Segment 1)	3,700 – 4,031 (Band Segment 1)	331	(4)
			6,094 – 6,425 (Band Segment 2)	3,869 – 4,200 (Band Segment 2)	331	(4)
	All	New	5,925 – 6,425	3,700 – 4,200	500	
H-4, H-3, H-2	VA, VI, VII, VIIA, VIII, IX	All	5,925 – 6,425	3,700 – 4,200	500	(2)
		All	5,925 – 6,425 (Band 1)	3,700 – 4,200 (Band 1)	500	(2)
	VIIIA	All	5,850 – 6,650 (Band 2)	3,400 – 4,200 (Band 2)	800	(2)

Notes: See following page.

NOTES TO TABLE 4

- (1) Existing earth stations are defined to be those with an RFP, or similar contractual document, dated prior to 1996. New earth stations are those with an RFP dated after 1995.
- (2) Users are encouraged to utilize the extended transmit and receive bandwidth available in the INTELSAT VI, VIII and VIIIA hemispheric beams. Users intending to buy new earth stations or antennas should consult with INTELSAT in the event they have any difficulty in utilizing these additional bandwidth segments. The extended bandwidths are as follows:

INTELSAT VI, VIII and IX Receive: 3,625 – 4,200 MHz
 Transmit: 5,850 – 6,425 MHz
INTELSAT VIIIA Receive: 3,400 – 4,200 MHz
 Transmit: 5,850 – 6,650 MHz
- (3) Administrations not permitting operation across the full extent of the (5,850 – 6,650)/(3,400 – 4,200) MHz bands are only required to equip for operation in the (5,925 – 6,425)/(3,700 – 4,200) MHz bands.
- (4) ■ Existing Standard F earth stations are required to be capable to operate over the full
■ extent of one of the 331 MHz bandwidth segments listed.

TABLE 5
MAXIMUM POWER FLUX DENSITY (PFD) AT THE EARTH'S SURFACE
(C-Band Downlinks, dBW/m²)

<u>Satellite</u>	<u>Typical PFD Per Transponder</u>			<u>Maximum Total PFD*</u> (A-Pol) or (B-Pol)**
	(Global)	(Hemi/Zone)	(C-Spot)	
VA	- 139.6	- 134.1	- 129.1	- 122.4
VI	- 137.1	- 132.1	N/A	- 123.5
VII	- 134.6	- 131.1	- 125.1	- 117.9
VIIA	- 134.1	- 131.1	- 124.5	- 117.4
VIII	- 133.1	- 130.1	N/A	- 118.8
VIIIA	N/A	- 128.6	N/A	- 113.4
IX	-130.6	-124.4	N/A	-116.0

NOTES:

* Maximum total PFD is the PFD resulting from all transponders in a given beam.

** Circularly Polarized Spacecraft

A-pol = A polarization (RHCP), which includes global, hemispheric, and 4 GHz spot beams.

B-pol = B polarization (LHCP), which includes global, zone, and 4 GHz spot beams.

Linearly Polarized Spacecraft (INTELSAT VIIIA)

A-pol = Hemi A which is vertically polarized on the downlink.

B-pol = Hemi B which is horizontally polarized on the downlink.

APPENDIX A

ITU REFERENCES

Radiocommunication Sector Recommendations:

Rec. ITU–R S.465–5 Published 1993

Rec. ITU–R S.524–5 Published 1994

Rec. ITU–R S.580–5 Published 1994

Rec. ITU–R S.733–1 Published 1993

ITU Radio Regulations:

Radio Regulation Article 1 Numbers 148 and 149

Radio Regulation Annex III to Appendix 29

APPENDIX B
REVISION HISTORY

<u>Revision No.</u>	<u>Approval Date</u>	<u>Major Purpose</u>
Original	19 May 1994	<ul style="list-style-type: none">• New module
1	25 Aug 1994	<ul style="list-style-type: none">• Incorporate INTELSAT VIII and VIIIA, including bandwidth requirements for operation in the extended C–bands of INTELSAT VIIIA.• Add recommendation that antennas used for links with elevation angles below 20° equip with program track capability. (para. 1.4.3)• Add section describing the effects of Faraday rotation on linearly polarized waves in the 6/4 GHz bands of INTELSAT VIIIA. (para. 1.3.3.1 and 1.3.3.2).
2	10 Nov 1995	<ul style="list-style-type: none">• Incorporate requirements for Standard H.
3	30 Nov 1998	<ul style="list-style-type: none">• Delete references to Standard D*.• Delete references to INTELSAT VA(IBS) and satellites transferred to New Skies Satellite.
4	10 Feb 2000	<ul style="list-style-type: none">• Include INTELSAT IX.

* Existing Standard D earth stations must meet the requirements contained in IESS–207 (Rev. 2).



INTELSAT EARTH STATION STANDARDS (IESS)

Document IESS–601 (Rev. 12)

STANDARD G

PERFORMANCE CHARACTERISTICS FOR EARTH STATIONS ACCESSING THE INTELSAT SPACE SEGMENT FOR INTERNATIONAL AND DOMESTIC SERVICES NOT COVERED BY OTHER EARTH STATION STANDARDS

(6/4, 14/11 and 14/12 GHz)

Approval Date: 10-Mar-05

All of the information contained in these IESS documents are considered proprietary and confidential to Intelsat Global Service Corporation and its affiliates. You (1) must maintain this information as confidential, (2) may not use the information for any purposes other than for Intelsat's system, and (3) may not disclose such information to any third party without the express written consent of Intelsat Global Service Corporation. Intelsat and its affiliates disclaim all responsibility for unauthorized use or distribution of this information.

TABLE OF CONTENTS

<u>SECT.</u>	<u>TITLE</u>	<u>PAGE</u>
1.	INTRODUCTION	1
1.1	Standard Gx and GE	1
1.1.1	Standard Gx	2
1.1.2	Standard GE	2
2.	GENERAL EARTH STATION GUIDELINES/REQUIREMENTS	3
3.	GENERAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS REQUIRED FOR STANDARD G EARTH STATIONS ACCESSING THE INTELSAT SPACE SEGMENT	3
3.1	Antenna System	3
3.1.1	Antenna Sidelobe Pattern (6/4 GHz, 14/11 GHz and 14/12 GHz).....	3
3.1.2	Polarization Sense, Orientation and Switchability	6
3.1.2.1	C-Band Antennas	6
3.1.2.2	Ku-Band Antennas	8
3.1.2.3	Transmit and Receive Axial Ratio	9
3.1.3	Antenna Steering or Beam Positioning	12
3.1.3.1	Antenna or Beam Steerability	12
3.1.3.2	Tracking Modes and Capability	13
3.1.3.3	Antenna Steering Data	15
3.1.3.4	EIRP Stability	15
3.2	General Radio Frequency Requirements	16
3.2.1	Satellite Bandwidth and Transponder Frequency Allocations	16
3.2.2	Minimum Earth Station Bandwidth Requirements	16
3.2.3	Ability to Vary Frequency of Carriers	18
3.2.4	Carrier RF Frequency Tolerance	18
3.2.5	Satellite Transponder Translation Frequency Tolerance	18
3.2.6	Transmission Time Delay Variations Due to Satellite Motion	18
3.3	Emission Constraints	19
3.3.1	Off-Beam Emission EIRP Density (6 and 14 GHz)	19
3.3.2	Spurious Emissions Within The Satellite Band (5,850 to 6,425 MHz and 14,000 to 14,500 MHz)	19

TABLE OF CONTENTS

<u>SECT.</u>	<u>TITLE</u>	<u>PAGE</u>
3.3.2.1	Spurious Emissions (Except Intermodulation Products).....	19
3.3.2.2	Spurious Emission – Intermodulation Products.....	20
3.3.2.3	Aggregate Earth Station HPA Intermodulation Products and HPA Output noise	21
3.3.2.4	Carrier Spectral Sidelobes	21
3.3.3	Unwanted Emissions Outside The Satellite Band	21
3.3.3.1	Out-Of-Band (OOB) Emissions.....	21
3.3.3.2	Spurious Emissions in the Spurious Domain – For Earth Stations Brought Into Service After 1 January 2003.....	22
3.3.3.3	Spurious Emissions in the Spurious Domain – For All Earth Stations After 1 January 2012	22
3.4	Ability to Vary EIRP of Carriers	22
3.5	Total Receive Power Flux Density at the Earth’s Surface	22
3.6	Amplitude, Group Delay, and Electrical Path Length Equalization.....	22
3.7	Communications Between Intelsat and Standard G Earth Station.....	22
3.8	Testing Requirements	23
3.8.1	Test Equipment	23
3.8.2	Carrier Line-up and In-Service Monitoring	23
3.9	Earth Station Control	23

LIST OF TABLES

<u>TABLE NO.</u>	<u>TITLE</u>	<u>PAGE</u>
Table 1	STANDARD G EARTH STATION POLARIZATION REQUIREMENTS TO OPERATE WITH INTELSAT VI, VII AND VIIA SATELLITES (6/4 GHz)	25
Table 2	EARTH STATION POLARIZATION REQUIREMENTS TO OPERATE WITH INTELSAT VIII, VIIIA (805), IX and X (1002) SATELLITES (6/4 GHz) (1)	26
Table 3	EARTH STATION POLARIZATION REQUIREMENTS TO OPERATE WITH INTELSAT VI, VII, VIIA, VIII, VIIIA (805), IX and X (1002) SATELLITES (14/11 GHz and 14/12 GHz)	28
Table 4	MINIMUM BANDWIDTH REQUIREMENTS FOR STANDARD G C-BAND EARTH STATIONS	29
Table 5	MINIMUM BANDWIDTH REQUIREMENTS FOR STANDARD G Ku-BAND EARTH STATIONS.....	30
Table 6	EIRP DENSITY LIMITS FOR INTERMODULATION PRODUCTS (6 GHz).....	31
Table 7	EIRP DENSITY LIMITS FOR INTERMODULATION PRODUCTS (14 GHz).....	32
Table 8	MAXIMUM POWER FLUX DENSITY (PFD) AT THE EARTH'S SURFACE (C-Band Downlinks, dBW/m ²).....	33
Table 9	MAXIMUM POWER FLUX DENSITY AT THE EARTH'S SURFACE (Ku-Band Downlinks, dBW/m ²).....	34

INTELSAT EARTH STATION STANDARDS (IESS)

STANDARD G

PERFORMANCE CHARACTERISTICS FOR EARTH STATIONS
ACCESSING THE INTELSAT SPACE SEGMENT FOR INTERNATIONAL AND
DOMESTIC SERVICES NOT COVERED BY OTHER EARTH STATION STANDARDS
(6/4 GHz, 14/11 GHz and 14/12 GHz)

1. INTRODUCTION

Standard G earth stations can access the Intelsat space segment through the use of transponder resources which are defined in Intelsat's Leased Transponder Definitions Module (IESS–410) or through the use of other space segment facilities for which utilization charges have been approved by Intelsat, excluding stations used in experiments and those used for a limited period of time to support other stations being retrofitted.

Standard G earth stations may be used to access leased transponder resources supporting domestic or international services. Services which are provided through earth stations which are approved under the Standard G category are reviewed periodically to determine if more detailed specifications should be developed for a given application.

The Standard G earth station performance characteristics do not specify particular values for the following parameters:

- Maximum EIRP per carrier,
- Modulation method,
- G/T,
- Transmit gain and,
- Channel quality

These parameters are left to the user in deciding the best transmission design for a particular requirement.

However, the actual values selected for these parameters still require Intelsat's review as part of the transmission plan that must be approved by Intelsat.

1.1 Standard Gx and GE

In response to user requirements for services to small antennas, Intelsat has developed two sub-categories of Standard G known as Standard Gx and Standard GE.

1.1.1 Standard Gx

Standard Gx is intended for those applications which by virtue of their low transmit EIRP density have little potential for causing interference to other users. Such antennas can access the space segment without submitting measured antenna performance data subject to a constraint on transmit EIRP density as described in Appendix A.

1.1.2 Standard GE

Standard GE is intended for those applications, such as, satellite news gathering, requiring increased uplink EIRP capability and/or improved protection from adjacent satellite interference. Standard GE earth stations are required to meet the requirements contained in the main body of this specification as well as the supplementary requirements contained in Appendix A.

If the requirements for Standard G performance are met, a wide range of earth station sizes, modulation techniques and performance quality can be selected and applied to domestic and international services (for which more comprehensive standards do not already apply). These performance requirements specify minimum earth station capabilities and maximum levels of interference.

The transmission plan for Standard G earth stations will be coordinated and agreed with Intelsat for the purpose of ensuring that levels of interference are kept within acceptable limits. The implementation of the transmission plan rests with the user where it should be noted that departures from the agreed transmission plan may result in degradation in the quality of service, due to interference and other causes such as a lower value of earth station G/T.

In view of the importance of G/T, substantiating data is required to be submitted to Intelsat. Substantiating data may be either a measured G/T value or a value calculated from measured antenna gain and measured receiver noise temperature. This measured data can be taken either from in-plant tests or taken on-site.

Earth stations making applications as Standard G will be classified at the highest Standard possible, i.e., Standard A, B, C, E, F, H or K, based on G/T data presented as part of the earth station verification process. Earth stations entering the system under the Standard Gx restriction are not classified based on G/T. Earth stations approved in categories of Standard A, B, C, E, H-4, H-3, H-2, K-3 and K-2 which are qualified to access space segment capacity appropriate to Standard G, will retain their original classification as well as automatically assume the Standard G classification. Standard F terminals having a transmit voltage axial ratio of 1.09 across the frequency band 5.925 to 6.425 GHz may also automatically assume the Standard G classification. In such cases, it is not necessary to subject the station to additional verification testing nor is the submission of a new application form required.

Earth stations accessing Intelsat transponders which do not conform to the Standard G performance characteristics specified in this document (or which cannot automatically assume the Standard G classification as discussed in paragraph 1.4) will be treated on a case-by-case basis as non-standard earth stations.

2. GENERAL EARTH STATION GUIDELINES/REQUIREMENTS

The detailed design of the Standard G earth station has been left to the user, including considerations regarding channel performance. For this reason the "General Guidelines for Intelsat Earth Stations" discussed in IESS-101 do not apply to Standard G earth stations. However, the following general guidelines/requirements are provided.

Users of Standard G earth stations should be conscious of the need for flexibility in the design and operation of the earth station to accommodate changes in the configuration of the Intelsat space segment.

It is required that the earth station design be such that changes in the transmitted and received RF carrier frequencies can be made in order that frequency plans can be properly coordinated for the purposes of limiting mutual interference and for flexibility in intersystem coordination.

Due to the probability that very large networks will exist for some applications, Intelsat will make its best efforts to minimize changes in RF carrier frequency.

The reliability of earth station equipment should be such that the space segment cannot be jeopardized by emissions that are in error due to carrier level, frequency, or polarization state.

3. GENERAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS REQUIRED FOR STANDARD G EARTH STATIONS ACCESSING THE INTELSAT SPACE SEGMENT

3.1 Antenna System

3.1.1 Antenna Sidelobe Pattern (6/4 GHz, 14/11 GHz and 14/12 GHz)

New antennas, for the purpose of this paragraph, are considered to be those which have an RFP (or similar document specifying contractual performance characteristics) issued after 1995.

(a) Transmit Sidelobe Design Objective

The design objective should be such that the gain of 90 percent of the copolarized and crosspolarized sidelobe peaks does not exceed an envelope described by:

$$\begin{array}{ll} G = 29 - 25 \log \theta \text{ dBi}, & 1^{\circ*} \leq \theta \leq 20^{\circ} \\ G = -3.5 \text{ dBi}, & 20^{\circ} < \theta \leq 26.3^{\circ} \\ G = 32 - 25 \log \theta \text{ dBi}, & 26.3^{\circ} < \theta \leq 48^{\circ} \\ G = -10 \text{ dBi}, & \theta > 48^{\circ} \end{array}$$

where: G is the gain of the sidelobe envelope relative to an isotropic antenna in the direction of the geostationary orbit, in dBi.

θ is the angle in degrees between the main beam axis and the direction considered.

This requirement should be met within any frequency defined in paragraph 3.2.2 for any direction which is within 3° of the geostationary arc (Rec. ITU-R S.580-5).

(b) Transmit Sidelobe Mandatory Requirements (Existing Antennas)

At angles greater than $1^{\circ*}$ away from the main beam axis, it is required that the gain of 90 percent of the copolarized and crosspolarized sidelobe peaks not exceed an envelope described by:

$$\begin{array}{ll} G = 32 - 25 \log \theta \text{ dBi}, & 1^{\circ*} \leq \theta \leq 48^{\circ} \\ G = -10 \text{ dBi} & \theta > 48^{\circ} \end{array}$$

Where G and θ are defined in paragraph 3.1.1(a).

This requirement should be met within any frequency defined in paragraph 3.2.2 in any direction within 3° of the geostationary arc (Rec. ITU-R S.580-5).

(c) Transmit Sidelobe Mandatory Requirements (New Antennas)

It is required that the gain of 90 percent of the copolarized and crosspolarized sidelobe peaks not exceed an envelope described by the following:

* For D/λ below 100, this angle becomes $100 \lambda/D$ degrees.

D/λ < 50

$$\begin{array}{ll} G = 32 - 25 \log \theta \text{ dBi,} & 100 \lambda/D^{\circ*} \leq \theta \leq 48^{\circ} \\ G = -10 \text{ dBi,} & \theta > 48^{\circ} \end{array}$$

D/λ ≥ 50 (Rec. ITU-R S.580-5 and Rec. ITU-R S.465-5)

$$\begin{array}{ll} G = 29 - 25 \log \theta \text{ dBi,} & 1^{\circ*} \leq \theta \leq 20^{\circ} \\ G = -3.5 \text{ dBi,} & 20^{\circ} < \theta \leq 26.3^{\circ} \\ G = 32 - 25 \log \theta \text{ dBi,} & 26.3^{\circ} < \theta \leq 48^{\circ} \\ G = -10 \text{ dBi,} & \theta > 48^{\circ} \end{array}$$

where G and θ are defined in Paragraph 3.1.1(a).

This requirement should be met within any frequency defined in paragraph 3.2.2 in any direction within 3° of the geostationary arc.

(d) Receive Sidelobes

In order to protect receive signals from interference arising elsewhere, restrictions must also be placed on the receive sidelobe characteristics. Therefore, while not mandatory, it is recommended that the transmit sidelobe characteristics apply to the receive band as well.

Existing Antennas

Unless other agreements have been negotiated interference protection will be afforded to the following sidelobe envelope:

$$\begin{array}{ll} G = 32 - 25 \log \theta \text{ dBi,} & 1^{\circ*} \leq \theta \leq 48^{\circ} \\ G = -10.0 \text{ dBi,} & \theta > 48^{\circ} \end{array}$$

New Antennas

Interference protection will be afforded only to the following sidelobe envelope:

D/λ < 50

$$\begin{array}{ll} G = 32 - 25 \log \theta \text{ dBi,} & 100 \lambda/D^{\circ} \leq \theta \leq 48^{\circ} \\ G = -10 \text{ dBi,} & \theta > 48^{\circ} \end{array}$$

* For D/λ below 100, this angle becomes 100 λ/D degrees.

$$\underline{D/\lambda \geq 50}$$

$$G = 29 - 25 \log \theta \text{ dBi}, \quad 1^\circ \leq \theta \leq 20^\circ$$

$$G = -3.5 \text{ dBi}, \quad 20^\circ < \theta \leq 26.3^\circ$$

$$G = 32 - 25 \log \theta \text{ dBi}, \quad 26.3^\circ < \theta \leq 48^\circ$$

$$G = -10 \text{ dBi}, \quad \theta > 48^\circ$$

Where G and θ are defined in paragraph 3.1.1(a).

3.1.2 Polarization Sense, Orientation and Switchability

3.1.2.1 C-Band Antennas

(a) Transmit and Receive Polarization Senses

Intelsat VI, VII, VIIA, VIII, IX and X (1002) satellites utilize dual circular polarization at 6/4 GHz in the hemispheric, zone, and global transponders. Additionally, Intelsat VII, and VIIA are equipped with two 4 GHz spot beams, each operating at a different polarization (RHCP or LHCP)*.

Intelsat VIIIA (805) provides dual polarization coverage by overlapping two Hemispheric coverages (Hemi A or Hemi B), each operating with a different linear polarization.

The polarization requirements to operate in the 6/4 GHz band are shown in Table 1 and Table 2. Earth stations shall be capable of operating in any designated transponder in any polarization sense. However, simultaneous operation in both senses of polarization will not normally be required for either the uplink or for the downlink.

* For D/λ below 100, this angle becomes $100 \lambda/D$ degrees.

† Senses of polarization are defined in ITU Radio Regulations Article 1, Nos. 148 and 149.

(b) Faraday Rotational Effects [Linearly Polarized Antennas Operating with Intelsat VIIIA (805)]

Faraday rotation affects linearly polarized waves passing through the ionosphere. The effect of Faraday rotation is a decrease in the cross polarization discrimination. Because the magnitude of Faraday rotation varies as $1/f^2$, the effect is not as significant a consideration at Ku-Band. At C-Band, however, the $1/f^2$ dependence makes Faraday rotation an important consideration, particularly on the downlink.

The magnitude of the Faraday rotation depends on frequency, latitude, elevation angle, direction of propagation, the position of the sun relative to the earth station and solar flare activity. Faraday rotation has a distinct diurnal variation pattern which can lead to a diurnal variation in crosspolarization isolation. The diurnal variations become larger in years of high sunspot activity and during the equinox periods of any year.

Automated techniques to compensate for or to minimize the effect of Faraday rotation do exist and are similar to those used to compensate for rain depolarization. Faraday rotation effects can, also, be minimized by applying a fixed feed rotation equal to one half the expected diurnal variation. It is not possible, however, to select a fixed, pre-set rotational compensation that is adequate for all sunspot activity periods. Rather, the rotational compensation must be set on a yearly or seasonal basis.

Users using linear polarization in C-Band are urged to consider feed designs which would permit, if necessary, feed rotational compensation. Users of large earth stations should also consider feed designs which can accommodate an automated compensation network. As the direction of Faraday rotation is opposite on the uplink and downlink, feed designs which permit independent adjustment of the uplink and downlink are highly desirable.

(c) Polarization Orientation Of Linearly Polarized Antennas Operating With Intelsat VIIIA (805)

It is required that the earth station feed be optimized to match the spacecraft polarization angle under clear-weather conditions. This requirement does not apply to earth stations employing Faraday rotation compensation.

As explained in paragraph (b) above, Faraday rotation is diurnal in nature with the peak-to-peak diurnal variation increasing during the equinox periods of any year and in years of high sunspot activity. Because Faraday rotation effects are at a minimum just prior to sunrise, it is recommended that the antenna feed be aligned during the time

period immediately preceding local sunrise. If possible, feeds should be aligned during the time period within one month of a solstice. Alignment of feeds during the period within one month of an equinox should be avoided whenever possible. It is recommended that the orientation of feeds aligned during periods other than the solstice be realigned during the next solstice period.

3.1.2.2 Ku-Band Antennas

(a) Transmit and Receive Polarization Senses

The polarization requirements to operate in the 14/11 and 14/12 GHz bands are shown in Table 3. Earth stations are required to operate with the appropriate polarization for each spot beam.

(b) Polarization Orientation

Although collocated spot beam operation from different spacecraft is not anticipated on Intelsat VII, VIII, VIIIA (805), IX or X (1002), contingencies or user requirements may necessitate such a mode of operation. The polarization alignment requirements of new antennas operating with these spacecraft have, accordingly, been developed in order to permit such collocated spot beam operation.

Existing Antennas Operating with Intelsat VI, VII, VIII, VIIIA (805), IX and X (1002) (Built prior to 2 January 1993)

It is recommended that the earth station feed be optimized to match the spacecraft polarization angle under clear-weather conditions.

New Antennas Operating with Intelsat VI, VII, VIII, VIIIA (805), IX and X (1002) (Built after 1 January 1993)

It is required that the earth station feed be optimized to match the spacecraft polarization angle under clear-weather conditions.

Antennas Operating with Intelsat VIIA

With Intelsat VIIA, orthogonal dual linear polarization is used at 14/11 GHz and 14/12 GHz frequency bands. Earth stations shall be capable of operating in any designated transponder in any polarization sense. For additional information on Intelsat VIIA polarization, refer to IESS-415. It is required that the earth station feed be optimized to match the spacecraft polarization angle under clear-weather conditions.

3.1.2.3 Transmit and Receive Axial Ratio

The following voltage axial ratio requirements apply to the full bandwidth specified in paragraph 3.2.2:

- (a) Circularly Polarized Antennas Operating in the 5.925 – 6.425 GHz and 3.700 – 4.200 GHz Bands (500 MHz)*

Antennas With Diameter Larger Than 2.5 m

The voltage axial ratio of transmission in the direction of the satellite shall not exceed 1.09 (27.3 dB polarization discrimination) everywhere within a cone centered on the main beam axis and whose angle is defined by the antenna tracking and/or pointing errors. The design goal, however, is 1.06 (30.7 dB polarization discrimination). It is recommended that this axial ratio not be exceeded for reception.

It is a mandatory requirement for earth station users to provide Intelsat with proof or certification of the antenna's receive axial ratio performance from their antenna manufacturer.

Antennas with Diameter 2.5 m or Smaller

a)

The voltage axial ratio of transmission in the direction of the satellite shall not exceed 1.3 (17.7 dB polarization discrimination) everywhere within a cone centered on the main beam axis and whose angle is defined by the antenna tracking and/or pointing errors. It is recommended that this axial ratio not be exceeded for reception.

It is a mandatory requirement for earth station users to provide Intelsat with proof or certification of the antenna's receive axial ratio performance from their antenna manufacturer.

b)

Special Conditions

The following exceptional relaxations apply to specific categories of antennas and will be evaluated on their merits by Intelsat on a case-by-case basis.

For certain specific applications, it may be possible to reduce the frequency bandwidth specified in paragraph 3.2.2 over which the mandatory axial ratio requirements are to be met in order to achieve some reduction in the feed costs.

* These requirements also apply to earth stations operating in the 5.850 – 6.425 GHz and 3.625 – 4.200 GHz (575 MHz) bands on Intelsat VI, VIII, IX and X (1002).

For 6/4 GHz antennas, there may be special circumstances which would permit stations operating with particular modulation techniques to have an antenna voltage axial ratio greater than 1.09, even when a dual polarized spacecraft is being accessed. This may occur when frequency plans in oppositely polarized transponders can be interleaved, or when it can be demonstrated that no harmful co-channel interference will be produced, such as may occur when spectrum spreading techniques are used. In particular, if it is shown in the transmission plan that the on-axis crosspolarized aggregate EIRP density of all antennas at any uplink frequency does not exceed 20 dBW/4 kHz, then antennas with reduced axial ratio performance will be considered on a case-by-case basis.

- (b) Antennas Operating in the 5.850 – 6.650 GHz and 3.400 – 4.200 GHz (800 MHz) Bands of Intelsat VIIIA (805)

Linearly Polarized Antennas* With Diameter Larger Than 4.5 Meters

The voltage axial ratio of transmission in the direction of the satellite shall exceed 31.6 (30.0 dB polarization discrimination) everywhere within a cone centered on the main beam axis and whose angle is defined by the antenna tracking and/or pointing errors. It is recommended that this axial ratio be exceeded for reception.

It is a mandatory requirement for earth station users to provide Intelsat with proof or certification of the antenna's receive axial ratio performance from their antenna manufacturer.

Linearly Polarized Antennas* With Diameter 4.5 Meters or Smaller

The voltage axial ratio of transmission in the direction of the satellite shall exceed 22.4 (27.0 dB polarization discrimination) everywhere within a cone centered on the main beam axis and whose angle is defined by the antenna tracking and/or pointing errors. The design goal, however, is 31.6 (30.0 dB polarization discrimination). It is recommended that this axial ratio be exceeded for reception.

It is a mandatory requirement for earth station users to provide Intelsat with proof or certification of the antenna's receive axial ratio performance from their antenna manufacturer.

- (c) Existing Antennas Operating in the 14/11 or 12 GHz Bands with Intelsat VI, VII, VIIA, VIII, VIIIA (805), IX and X (1002)

As a design objective, the voltage axial ratio of transmission in the direction of the satellite should exceed 31.6 (30.0 dB polarization discrimination)

* The Intelsat VIIIA (805) spacecraft utilizes linear polarization in the 6 and 4 GHz bands.

everywhere within a cone centered on the main beam axis and whose angle is defined by the antenna tracking and/or pointing errors. It is recommended that this axial ratio be exceeded for reception.

It is a mandatory requirement for earth station users to provide Intelsat with proof or certification of the antenna's receive axial ratio performance from their antenna manufacturer.

To assist the frequency planning process, earth stations operating with Intelsat VIIA or with satellites having overlapping spot beam coverages may be required to submit measured data of the voltage axial ratio of transmission everywhere within a cone centered on the main beam axis and whose angle is defined by the antenna tracking and/or pointing errors.

- (d) New Antennas Operating in the 14/11 or 12 GHz Bands with Intelsat VI, VII, VIIA, VIII, VIIIA (805), IX and X (1002) (Built after 1 January 1993).

Antennas with Diameter Larger Than 2.5 Meters

The voltage axial ratio of transmission in the direction of the satellite shall exceed 31.6 (30.0 dB polarization discrimination) everywhere within a cone centered on the main beam axis and whose angle is defined by the antenna tracking and/or pointing errors. It is recommended that this axial ratio be exceeded for reception.

It is a mandatory requirement for earth station users to provide Intelsat with proof or certification of the antenna's receive axial ratio performance from their antenna manufacturer.

Antennas With Diameter 2.5 Meters or Smaller

The voltage axial ratio of transmission in the direction of the satellites shall exceed 20.0 (26.0 dB polarization isolation) everywhere within a cone centered on the main beam axis and whose angle is defined by the antenna tracking and/or pointing errors. It is recommended that this axial ratio be exceeded for reception.

It is a mandatory requirement for earth station users to provide Intelsat with proof or certification of the antenna's receive axial ratio performance from their antenna manufacturer.

Transmit earth stations which do not comply with this 26 dB polarization discrimination requirement may operate, provided the polarization discrimination is 20 dB or greater everywhere within a cone centered on the main beam axis and whose angle is defined by the antenna tracking and/or pointing errors and the power density of the transmitted carrier does not exceed the following:

$$\text{Maximum EIRP Density} = 52.0 - (26.0 - \text{XPD}) \text{ dBW} / 40 \text{ kHz}$$

Where: XPD is defined as the worse case polarization discrimination (≥ 20 dB) everywhere within a cone centered on the main beam axis and whose angle is defined by the antenna tracking and/or pointing errors.

Notes:

- (1) The above computed EIRP density may not exceed that permitted by the off-axis emission limitations of Rec. ITU-R S.524-7.
- (2) Type-approved antennas are required to meet a 26 dB polarization isolation everywhere within a cone centered on the main beam axis and whose angle is defined by the antenna tracking and/or pointing errors.

3.1.3 Antenna Steering or Beam Positioning

3.1.3.1 Antenna or Beam Steerability

Automatic or manual steering should be compatible with geostationary satellites at orbital locations for which the earth station elevation angle is not less than 5° .

Intelsat satellites are planned for locations within the nominal orbital arcs indicated below (subject to change with time). Intelsat should be contacted during the earth station design stage to determine if a reduction in the limits of these orbital arcs may apply:

$$\text{AOR} = 304.5^\circ \text{ to } 359^\circ \text{ E}$$

$$\text{IOR} = 33^\circ \text{ to } 66^\circ \text{ E}^*$$

$$\text{APR} = 83^\circ \text{ to } 157^\circ \text{ E}^*$$

$$\text{POR} = 174^\circ \text{ to } 180^\circ \text{ E}$$

If steering systems meeting these requirements are not provided, considerable outages may occur during transition to another satellite or during periods of service restoration through satellites at different orbit locations. Sufficient steering capability is also desirable to permit on-site demonstration of compliance with mandatory sidelobe levels.

* To provide the maximum flexibility for contingency operation, users in the APR and IOR should consider antenna steering systems capable of covering both regions to the extent possible from their geographic location.

3.1.3.2 Tracking Modes and Capability

Under nominal conditions, Intelsat intends to maintain the orbital movements of its satellites to the limits indicated below:

<u>Satellite</u>	<u>Nominal Stationkeeping</u>	
	<u>North-South</u> (degrees)	<u>East-West</u> (degrees)
VI, VII, VIIA, VIII, VIIIA, IX & X	± 0.05	± 0.05

Based on the above nominal stationkeeping limits and the earth station antenna beamwidth, the user should determine whether autotrack is required, taking into account the EIRP stability required in paragraph 3.1.3.4, the axial ratio requirement of paragraph 3.1.2.3 and performance objectives. As a minimum, manual tracking capability with the facility to peak up the receive signal is recommended, since the intended stationkeeping limits may be exceeded under certain special circumstances.

(a) 4 GHz Beacons

4 GHz beacon transmit frequencies for the Intelsat satellites are shown below:

<u>Satellites</u>	<u>Beacon Frequencies</u> (MHz)
VI	3,947.5, 3,948.0, 3,952.0 and 3,952.5
VII, VIIA, VIII, VIIIA (805), IX & X (1002)	Same 4 frequencies above used for telemetry, plus an unmodulated tracking-only beacon at 3,950.0

Only two of the four beacons on each Intelsat VII, VIIA, VIII, VIIIA (805), IX and X (1002) satellite can be operated simultaneously, one at the low frequency (3,947.5 or 3,948.0 MHz) and the other at the high frequency (3,952.0 or 3,952.5 MHz).

Standard G stations equipped with autotrack should note that in order to autotrack the Intelsat VI series of satellites by means of the beacon signals transmitted by these satellites, it is necessary to be able to receive and adequately differentiate between the following beacon frequencies: 3,947.5, 3,948.0, 3,952.0 and 3,952.5 MHz. It should be noted that a pair of beacon frequencies will normally be used at any given time, the choice of which will be determined by Intelsat.

Alternative means for tracking these satellites may be utilized.

Standard G stations accessing Intelsat VII, VIIA, VIII, VIIIA (805), IX and X (1002) satellites should, preferably, utilize the unmodulated 3,950 MHz beacon for tracking purposes. However, under contingency circumstances, the earth stations may be required to track using any of the four telemetry beacon frequencies. In which case, the provisions of the above paragraph shall apply.

(b) 11 GHz Beacons (Unmodulated)

The 11 GHz beacon transmit frequencies for the Intelsat VI, VII, VIIA, VIII, IX and X (1002) series are as follows:

- 11.198 GHz
- 11.452 GHz

Depending on the tracking requirements of users operating in the 14/11 GHz bands with antennas smaller than 3.8 meters on Intelsat VII, VIIA, VIII, IX and X (1002), Intelsat may operate the 11.198 GHz and 11.452 GHz beacons simultaneously. On Intelsat VI, only one beacon will be operated at a time. In case of a beacon failure on Intelsat VI, Intelsat may, at its discretion, operate the other beacon transmitter or provide an artificial beacon at the original frequency. In case of a beacon failure, some period of time may elapse before such an artificial beacon can be implemented. Users on Intelsat VI requiring a beacon for tracking purposes should confirm with Intelsat the operational frequency of the beacon on the satellite of interest and any contingency beacon plans. Users are urged to consider tracking system designs capable of operation with either beacon frequency.

(c) 12 GHz Beacons (Unmodulated)

12 GHz beacon transmit frequencies for the Intelsat VII, VIIA, VIII, and VIIIA (805) series are as follows:

- 11.701 GHz associated with the 11.7 to 11.95 GHz band, and
- 12.501 GHz associated with the 12.5 to 12.75 GHz band

Additional information regarding beacons is provided in the IESS 400 series spacecraft description modules.

3.1.3.3 Antenna Steering Data

IESS-412 describes a method by which earth station operators may compute the pointing direction from any earth station to any selected Intelsat-owned or operated spacecraft. The method may be implemented on a variety of computers ranging from a hand-held scientific calculator to personal computers. A Microsoft Windows-based software program (*Earth Station Pointing Data*) that performs all of the necessary computations described in IESS-412 has been developed by Intelsat and is available for downloading from the Intelsat Business Network (IBN) (<https://ibn.intelsat.com/>).

3.1.3.4 EIRP Stability

Tropospheric scintillation can occur in C-Band or Ku-Band under both adverse weather and clear-weather conditions and affects both linearly and circularly polarized signals. The effects of scintillation may be significant on links having elevation angles less than 20° and on links having elevation angles near 5°, scintillation effects can be severe. As a consequence of scintillation, antennas employing active tracking on low elevation paths may experience antenna mispointing or may transmit excessive EIRP levels when uplink power control is employed. The use of program track is, therefore, highly recommended on links operating with elevation angles less than 20° for those periods when tropospheric scintillation is severe and is recommended as the primary tracking method for antennas with elevation angles below 10°.

(a) Clear Weather

Carrier levels will be agreed upon in the coordinated transmission plan described in Section 1.0.

For tracking earth stations, the EIRP in the direction of the satellite shall, except under adverse weather conditions, be maintained to within +1.0 dB, -1.5 dB from the level assigned by Intelsat. For non-tracking earth stations, the EIRP in the direction of the satellite shall, except under adverse weather conditions, be maintained to within ± 0.75 dB from the level assigned by Intelsat. These tolerances include all earth station factors contributing to EIRP variation, antenna beam pointing and/or tracking error and fluctuations in the output RF power developed by the earth station transmit equipment, added on a root-sum-square basis.

In allocating a portion of the permitted EIRP instability to antenna beam pointing and/or tracking, users are cautioned that the crosspolarization isolation requirements of paragraph 3.1.2.3 must be met everywhere within a cone centered on the main beam axis and whose angle is defined by the antenna tracking and/or pointing errors.

The -1.5 dB requirement may be modified to a larger value for applications having sufficient margin. A request for a specific relaxation must be submitted at the time an earth station application is made and must be accompanied by a detailed transmission plan, as described in Section 1.0. Any relaxation will be evaluated on its merits by Intelsat on a case-by-case basis taking into account the immunity of the link to co-channel interference.

(b) Adverse Weather Conditions (Ku-Band)

If open-loop* uplink power control is used, it is recommended that when the up-path excess attenuation is greater than 1.5 dB, control of transmitter power be applied to restore the power flux density at the satellite to -1.5 dB, \pm 1.5 dB of nominal, to the extent that it is possible with the total power control range available. The flux density level obtained for clear-sky EIRP shall not be exceeded by more than 1.5 dB prior to or following cessation of precipitation, except for a brief interval following recovery from propagation conditions.

3.2 General Radio Frequency Requirements

3.2.1 Satellite Bandwidth and Transponder Frequency Allocations

Transponder frequency details are provided in the IESS 400 series spacecraft description modules. Services can be assigned to any available transponder and to any satellite series as may be necessary for contingency operation or resource management.

3.2.2 Minimum Earth Station Bandwidth Requirements

(a) 6/4 GHz Bands (All Earth Stations), 14/12 GHz Bands (All Earth Stations) and 14/11 GHz Bands Having Antennas Larger Than 3.8 Meters

The instantaneous bandwidth of the earth station antenna feed elements and LNA shall include one of the full 6/4 GHz, 14/11 or 14/12 GHz frequency bands indicated in Table 4 and Table 5. The RF electronics of the earth station (this includes the frequency translators, local oscillators and HPA) shall be capable of operating (with tuning if necessary) across the full extent of the indicated transmit and receive bands.

As referred to in paragraph 3.1.2.3, for certain specific applications, it may be possible to allow a reduction in the frequency bandwidth

* The term "open-loop" refers to uplink power control systems which derive the excess uplink path attenuation experienced by a given carrier by measurement of the downlink power of another carrier (such as the spacecraft beacon).

described in Table 4 and Table 5 in order to achieve some reduction in the earth terminal costs while meeting the axial ratio requirements. Any relaxation will be evaluated on its merits by Intelsat on a case-by-case basis.

(b) Earth Stations Utilizing the 14/11 GHz Bands Having Antennas with Diameters 3.8 Meters or Smaller

In order to achieve some reduction in the cost of earth terminals, the RF electronics (this includes the frequency translators, local oscillators, HPA, and transceivers*, if applicable) need only be capable of operation, with tuning if necessary, across one of the following transmit and receive band segments:

<u>Receive</u>		<u>Transmit</u>
10.95 to 11.2 GHz	and	14.0 to 14.25 GHz
	or	
11.45 to 11.7 GHz	and	14.25 to 14.5 GHz
	or	
12.50 to 12.75 GHz	and	13.75 to 14.0 GHz (Intelsat 1002 Spot 3 only)

Users are strongly urged to consider terminal designs capable of operation across the 10.95 to 11.7 GHz and 14.0 to 14.5 GHz bands. While Intelsat will make every effort to maintain frequency assignments within the capabilities of an earth terminal, reassignments may occur as a consequence of satellite transitions or traffic requirements. Frequency reassignments may also occur as a result of unforeseen circumstances such as may arise during contingency operation. In such contingency circumstances, advanced notification of frequency assignments may not be possible. Users of the 11 GHz band operating with reduced bandwidth terminals and utilizing the spacecraft beacon for tracking purposes should consider in their designs that, in the event of a failure of the spacecraft beacon, some period of time may elapse before the beacon can be restored (see para. 3.1.3.2(b)). This will, generally, be a serious consideration only for earth stations operating with inclined orbit satellites.

* The term transceiver is used to denote integrated units generally containing an LNA, SSPA or TWTA, frequency translators and local oscillators.

3.2.3 Ability to Vary Frequency of Carriers

The capability to vary the frequency of each transmitted carrier shall be provided, in order to permit carriers to be radiated anywhere within the earth station operating RF bandwidth.

Although two 70 MHz frequency converters can be used for multicarrier operation with 72 MHz transponders, users should consider the use of 140 MHz IF conversion equipment.

3.2.4 Carrier RF Frequency Tolerance

The frequency tolerance (maximum uncertainty of initial frequency adjustment plus long-term drift) on all earth station carriers shall be as shown below:

(a) Digital Carriers: $\pm 0.015 R$ Hz (± 2.0 kHz minimum, ± 10 kHz maximum), where R is the transmission rate in bits per second.

c) Analog Carriers	<u>Carrier Bandwidth</u>		<u>Freq.</u>	
b) <u>Carrier Type</u>	(B, MHz)		<u>Tolerance</u>	
				(kHz)
SCPC/FM	-----			± 1
FDM/FM and		B	\leq	1.25
TV/FM	1.25	$<$	B	\leq
	5.0	$<$	B	$<$
			B	\geq
			17.5	± 150
			17.5	± 250

3.2.5 Satellite Transponder Translation Frequency Tolerance

The translation frequency tolerance (for all bands) due to the satellite should be assumed to be no worse than ± 25 kHz for Intelsat VI, VII, VIIA, VIII, VIIIA (805), IX and X (1002) satellites over their lifetime. The tolerance over any one month is typically ± 2.5 kHz.

3.2.6 Transmission Time Delay Variations Due to Satellite Motion

If digital carriers are to be interfaced with synchronous data networks, it may be necessary to provide the receive station with elastic buffer storage facilities or equivalent to allow for time delay variations caused by satellite motion. The amount of storage necessary is affected by the maximum diurnal satellite motion and the longitudinal drift.

Under nominal stationkeeping conditions, it may be assumed that the maximum time delay variation parameters to be expected from Intelsat satellites will be as follows:

<u>Satellite</u>	<u>Max. Time Delay Variations (1)</u> (Milliseconds)	<u>Max. Rate of Time Delay Variations (2)</u> (Nanoseconds/second)
VI	0.32	10.0
VII, VIIA, VIII, VIIIA (805) and IX	0.43	15.4
X (1002)	0.23	8.2

NOTES:
(1) Maximum = peak-to-peak, uplink plus downlink.
(2) Maximum = uplink plus downlink.

3.3 Emission Constraints

3.3.1 Off-Beam Emission EIRP Density (6 and 14 GHz)

The off-beam emission limits given in Rec. ITU-R S.524-7 shall not be exceeded.

3.3.2 Spurious Emissions Within The Satellite Band (5,850 to 6,425 MHz and 13,750 to 14,500 MHz)

3.3.2.1 Spurious Emissions (Except Intermodulation Products)

The EIRP resulting from spurious tones, bands of noise or other undesirable products, but excluding multicarrier intermodulation products and spectral spreading due to earth station non-linearities, that would be present when carriers are not activated (carrier "off") shall not exceed 4 dBW/4 kHz anywhere within the following frequency ranges:

<u>Operating Satellite</u>	<u>Frequency Range</u>
Intelsat VII & VIIA	5,925 to 6,425 MHz 14,000 to 14,500 MHz
Intelsat VI, VIII & IX	5,850 to 6,425 MHz 14,000 to 14,500 MHz
Intelsat VIIIA (805)	5,850 to 6,650 MHz 14,000 to 14,500 MHz

Intelsat X (1002)	5,850 to 6,425 MHz 13,750 to 14,000 MHz 14,000 to 14,500 MHz
-------------------	--

- a) Spurious Products Associated With Transmissions To Standard E-1, F-1, G, H or K Earth Stations:

Spurious products falling in any 4 kHz band, which lies within the frequency range described in the above table, shall be at least 50 dB below the level of an unmodulated carrier (i.e., – 50 dBc)

- b) Spurious Products Associated With Transmissions To Standard A, B, C, E-3, E-2, F-3 or F-2 Earth Stations

Spurious products falling in any 4 kHz band, which lies within the frequency range described in the above table, shall be:

- 1) at least 40 dB below the level of an unmodulated carrier (i.e., – 40 dBc) for carriers having information rates up to and including 2.048 Mbit/s.
- 2) at least 50 dB below the level of an unmodulated carrier (i.e., – 50 dBc) for carriers with information rates greater than 2.048 Mbit/s.

d)
3.3.2.2

Spurious Emission – Intermodulation Products

- (a) 6 GHz Band

The EIRP density resulting from the buildup of intermodulation products transmitted from the earth station shall not exceed the levels shown in Table 6. This requirement applies outside the user's bandwidth. The level of earth station intermodulation which is acceptable within the user's bandwidth is determined by the user.

- (b) 14 GHz Band

The EIRP density resulting from the buildup of intermodulation products transmitted from the earth station shall not exceed the limits shown in Table 7 under clear-sky conditions. When uplink power control is used, the limit given in Table 7 may be exceeded during rain events when the control is active, but under no circumstance shall it be exceeded by more than 9 dB. This specification applies outside the user's bandwidth. The level of earth station intermodulation which is acceptable within the user's bandwidth is determined by the user.

It may be permissible in some cases for the limits given in para. 3.3.2.2 (a) and (b) to be exceeded by some intermodulation products if it can be shown that, for the particular frequency plan, this will not cause the overall noise performance

objectives of the interfered with carriers to be exceeded. Aggregate Earth Station HPA Intermodulation Products and HPA Output Noise.

3.3.2.3 Aggregate Earth Station HPA Intermodulation Products and HPA Output noise

The EIRP density limits specified in this module apply to intermodulation products resulting from the operation of a single HPA. For the recommended levels of aggregate earth station HPA IM and noise EIRP density levels to use in link budget calculations, refer to IESS-410.

3.3.2.4 Carrier Spectral Sidelobes

The spectral sidelobe of each transmitted digital carrier shall be more than 26 dB down from the spectral mainlobe peak when it falls outside the user's bandwidth. The acceptable level of spectral sidelobes falling within the user's bandwidth is determined by the user.

3.3.3 Unwanted Emissions Outside The Satellite Band

The definition of unwanted emissions (out-of-band and spurious) from both earth stations and spacecraft operating in the Fixed Satellite Service (FSS) are defined in Article 1 of the Radio Regulations, Nos. 1.144 and 1.145, respectively.

The out-of-band (OOB) domain comprises the region extending from the edge of the earth station amplifier's passband to the boundary between the OOB domain and the spurious domain. This boundary is normally located at a frequency offset from the edge of earth station high power amplifier's passband that is equal to twice the amplifier's bandwidth. The spurious emissions domain extends from the boundary with the OOB domain outwards. (Refer to Recommendations ITU-R SM.329, SM.1539 and SM.1541.)

Users should note that national regulators may impose additional domestic constraints on earth stations beyond those listed in this section. Users should, therefore, consult with their domestic regulatory authority to determine if such limits exist and to comply with them.

3.3.3.1 Out-Of-Band (OOB) Emissions

The Radio Regulations provide some general guidance on the need to limit OOB emissions to protect those services operating in the adjacent frequency bands (see RR No. 4.5).

The level of undesirable emissions in the out-of-band (OOB) domain should conform with the requirements of Annex 5 of ITU-R Recommendation SM.1541.

3.3.3.2 Spurious Emissions in the Spurious Domain – For Earth Stations Brought Into Service After 1 January 2003

All earth stations brought into service after 1 January 2003 shall ensure that spurious emissions in the spurious domain meet the mandatory requirements of Section 2 of Appendix 3 of the Radio Regulations.

3.3.3.3 Spurious Emissions in the Spurious Domain – For All Earth Stations After 1 January 2012

After 1 January 2012, all earth stations must meet the mandatory requirement of Section 3.3.3.2.

3.4 Ability to Vary EIRP of Carriers

It is recommended that means be provided whereby the level of each transmitted carrier can be adjusted over a range of 15 dB to meet changes that may occur in the agreed transmission plan.

3.5 Total Receive Power Flux Density at the Earth's Surface

The maximum expected total receive power flux densities for C–Band and Ku–Band earth stations are shown in Table 8 and Table 9 respectively.

3.6 Amplitude, Group Delay, and Electrical Path Length Equalization

In designing the RF subsystem, consideration should be given to amplitude, group delay and electric path length equalization requirements necessary to achieve user performance objectives.

3.7 Communications Between Intelsat and Standard G Earth Station

The user responsible for the control of each Standard G network shall ensure that a communications link can be established between Intelsat and a single point of contact for the purpose of relaying emergency and routine operational information and data. The user shall arrange in cooperation with, and to the satisfaction of, Intelsat for communication of the appropriate information to all Standard G earth stations in that particular network.

In order to facilitate the achievement of the communication requirement outlined above, collocation of transmitting Standard G stations and other Intelsat earth stations (e.g., A, B, C, etc.) is encouraged.

3.8 Testing Requirements

3.8.1 Test Equipment

The quantity and type of test and measuring equipment provided at an earth station will depend largely upon the wishes of the user and upon the quantities and types of equipment used. It should be such that all apparatus can be tested and maintained in a way that the performance requirements described in this document can be measured and verified. Certain of the tests and measurements required between cooperating pairs of earth stations require compatibility of test equipment.

3.8.2 Carrier Line-up and In-Service Monitoring

Standard G earth stations shall be equipped with facilities to measure the link parameters during the initial line-up.

Facilities to monitor the in-service communications performance are recommended.

It is the responsibility of the Standard G user to establish line-up procedures which are suitable for the modulation/access techniques employed in the user's network. When practicable, Intelsat may provide measuring facilities of some link parameters through its monitoring stations.

Users should consider the use of station fault indicators and automatic status reporting. Remote diagnostics should also be considered such that unmanned stations can be remotely controlled and test routines exercised.

3.9 Earth Station Control

In view of the numerous earth stations accessing the space segment on a multiple access (simultaneous) basis, any variation in transmit RF frequency, transmit EIRP and antenna tracking could cause interference with other services or cause hazardous conditions in the space segment. Accordingly, it is mandatory that earth stations be controlled at all times to avoid such interference.

In addition, bearing in mind that earth stations may be operated on a part-time or reservation basis, the station control facility should be compatible with such operation.

This requirement is considered to be satisfied when earth stations are attended 24-hours per day by operating personnel capable of adjusting frequency, EIRP and tracking, as required. In the event stations are not manned on a 24-hour per day basis, this requirement is considered to be satisfied when a positive means is available (remotely or otherwise) for immediately turning off RF

carriers which are interfering with services or creating hazardous conditions in the space segment.

Table 1

STANDARD G EARTH STATION POLARIZATION REQUIREMENTS
TO OPERATE WITH INTELSAT VI, VII AND VIIA SATELLITES (6/4 GHz)

Coverage	Intelsat VI		Intelsat VII/VIIA	
	Earth Station Transmit	Earth Station Receive	Earth Station Transmit	Earth Station Receive
1. Global A	LHCP	RHCP	LHCP	RHCP
2. Global B	RHCP	LHCP	RHCP	LHCP
3. West Hemisphere (Hemi 1)* †	LHCP	RHCP	LHCP	RHCP
4. East Hemisphere (Hemi 2)* †	LHCP	RHCP	LHCP	RHCP
5. NW Zone (Z1)** (ZA)†	RHCP	LHCP	RHCP	LHCP
6. NE Zone (Z3)** (ZB)†	RHCP	LHCP	RHCP	LHCP
7. SW Zone (Z2)** (ZC)†	RHCP	LHCP	RHCP	LHCP
8. SE Zone (Z4)** (ZD)†	RHCP	LHCP	RHCP	LHCP
9. C-Spot A	N/A	N/A	LHCP	RHCP
10. C-Spot B	N/A	N/A	RHCP	LHCP

* Hemi 1, Hemi 2, ZA, ZB, ZC, ZD nomenclature applies to Intelsat VII and VIIA only.

** Z1, Z2, Z3, Z4 nomenclature applies to Intelsat VI only.

† This indicates the normal mode of operation for Intelsat VII and VIIA; the inverted mode implies different beams in the East and West, as illustrated in IESS-409.

Notes: LHCP = Left-Hand Circularly Polarized. N/A = Not applicable to this spacecraft

RHCP = Right-Hand Circularly Polarized.

Table 2
EARTH STATION POLARIZATION REQUIREMENTS TO OPERATE WITH
INTELSAT VIII, VIIIA (805), IX and X (1002) SATELLITES (6/4 GHz) (1)

COVERAGE	Intelsat VIII & IX		Intelsat VIIIA (805)		Intelsat X (1002)	
	Earth Station Transmit	Earth Station Receive	Earth Station Transmit	Earth Station Receive	Earth Station Transmit	Earth Station Receive
1. Global A	LHCP	RHCP	N/A	N/A	LHCP	RHCP
2. Global B	RHCP	LHCP	N/A	N/A	RHCP	LHCP
3. Hemi 1 (2) (3)	LHCP	RHCP	N/A	N/A	LHCP	RHCP
4. Hemi 2 (2) (3)	LHCP	RHCP	N/A	N/A	LHCP	RHCP
5. Zone 1	RHCP	LHCP	N/A	N/A	RHCP	LHCP
Zone 2	RHCP	LHCP	N/A	N/A	RHCP	LHCP
Zone 3	RHCP	LHCP	N/A	N/A	N/A	N/A
Zone 4	RHCP	LHCP	N/A	N/A	N/A	N/A
Zone 5 (5)	RHCP	LHCP	N/A	N/A	N/A	N/A
6. Hemi A (4)	N/A	N/A	HPOL	VPOL	N/A	N/A
7. Hemi B (4)	N/A	N/A	VPOL	HPOL	N/A	N/A

NOTES:

- (1) N/A = Not applicable to this spacecraft.
RHCP = Right-Hand Circularly Polarized LHCP = Left-Hand Circularly Polarized
VPOL = Vertically Linearly Polarized HPOL = Horizontal Linearly Polarized
- (2) The Intelsat VIII may be operated in the normal or inverted attitude. In the AOR and IOR Hemi 1 corresponds to the West Hemi and Hemi 2 to the East Hemi. In the POR the Intelsat VIII will be operated in the inverted mode and, therefore, Hemi 1 corresponds to the East Hemi and Hemi 2 to the West Hemi.
- (3) The Intelsat X (1002) Hemi 1A & Hemi 2A receive/transmit in LHCP/RHCP while Hemi 1B receives/transmits in RHCP/LHCP (there is no Hemi 2B).
- (4) The Intelsat VIIIA Hemi A and Hemi B coverages are coincident.
- (5) Only for Intelsat IX with 5-Zone mode.

Table 3

EARTH STATION POLARIZATION REQUIREMENTS TO OPERATE
WITH INTELSAT VI, VII, VIIA, VIII, VIIIA (805), IX and X (1002) SATELLITES
(14/11 GHz and 14/12 GHz)

Satellite	Coverage	Linear Polarization (1)	
		Earth Station Transmit	Earth Station Receive
VI	East Spot	Horizontal	Vertical
	West Spot	Vertical	Horizontal
VII	Spot 1 & Spot 3 (2)	Horizontal	Vertical
	Spot 2	Vertical	Horizontal
VIIA	S1, S2X, & S3 (2)	Horizontal	Vertical
	S1X, S2	Vertical	Horizontal
VIII, IX (4)	Spot 1	Horizontal	Vertical
	Spot 2	Vertical	Horizontal
VIIIA (805)	Spot 1	Horizontal	Vertical
X (1002)	Spot 1 (4) & Spot 3A	Vertical	Horizontal
	Spot 2 (4) & Spot 3B	Horizontal	Vertical

- (1) Users are referred to the IESS-400 series modules for the definition of horizontal and vertical linear polarization and the dependence of the polarization orientation on the geographic location of the earth station.
- (2) On Intelsat VII (F-4, F-5, and F-9) and Intelsat VIIA (F-6 and F-7), Spot 3 receive and transmit antenna polarization senses can be switched in orbit by ground command.
- (3) Earth stations located in the South American beam are only required to receive in the vertical polarization.
- (4) The polarization sense of either Intelsat VIII, IX or X (Spot 1 and Spot 2) Spot beams can be changed independently by ground command. Users are urged to confirm with Intelsat the polarization sense of the Spot beam that will be utilized.

Table 4

MINIMUM BANDWIDTH REQUIREMENTS FOR STANDARD G
C-BAND EARTH STATIONS

<u>Satellite</u> (1)	<u>ITU Region</u>	<u>Earth Station Transmit Freq.</u> (GHz)	<u>Earth Station Receive Freq.</u> (GHz)	<u>Transmit and Receive Bandwidth</u> (MHz)
VI, VII, VIIA, VIII, IX & X (1002)	All	5.925 – 6.425 (2)	3.700 – 4.200 (2)	500
VIIIA (805)	All			
<u>Tx/Rx Antennas:</u>				
Band 1		5.925 – 6.425 (2)	3.700 – 4.200 (2)	500
Band 2		5.850 – 6.650 (3)	3.400 – 4.200 (3)	800
<u>Rx-Only Antennas:</u>				
Band 1		N/A	3.700 – 4.200 (2)	500
Band 2		N/A	3.400 – 4.200 (3)	800

NOTES:

- (1) Users are referred to the IESS-400 series modules for details of the channelization of the various Intelsat spacecraft.
- (2) At 6/4 GHz, users should consider in their design the possibility of extending their usable bandwidth down to 3.625 GHz for receive and down to 5.850 GHz for transmit, in order to include transponder (1' – 2') of Intelsat VI, VIII, VIIIA (805), IX and X (1002).
- (3) Some Administrations do not permit operation within the entire 5.850 – 6.650 GHz and 3.400 – 4.200 GHz Bands. Users in such Administrations may equip for those portions of the bands that are permitted.

Table 5

MINIMUM BANDWIDTH REQUIREMENTS FOR STANDARD G
Ku–BAND EARTH STATIONS

<u>Satellite (1)</u>	<u>ITU Region</u>	<u>Earth Station Transmit Freq. (GHz)</u>	<u>Earth Station Receive Freq. (GHz)</u>
VI, IX	All	14.00 – 14.50	10.95 – 11.20 & 11.45 – 11.70
VII, VIIA, VIII, X (1002) (4) (5)	All	14.00 – 14.50	10.95 – 11.20 & 11.45 – 11.70
	2 (2) (3) 1 & 3 (2)	14.00 – 14.25 14.00 – 14.25	11.70 – 11.95 12.50 – 12.75
VIII A (805)	2	14.00 – 14.25	11.70 – 11.95
	1 & 3	14.00 – 14.25	12.50 – 12.75

NOTES:

- (1) Users are referred to the IESS–400 series modules for details of the channelization of the various Intelsat spacecraft.
- (2) On Intelsat VII, the receive band segments of 11.70 – 11.95 GHz and 12.50 - 12.75 GHz are interchangeable between the East and West Spot beams, so this spacecraft series can be operated in any Ocean region.
- (3) Earth station users should consider in their design the possibility of extending their usable bandwidth to 14.35 GHz in the transmit band and to 11.45 GHz in the receive band.
- (4) For Ku–Band earth stations, consideration should be given to designing the RF system with a receive bandwidth of 10.95–12.75 GHz and a transmit bandwidth of 14.0 - 14.5 GHz. This will simplify conversion from the 11 GHz band to the 12 GHz band and provide maximum flexibility for operation with any spacecraft series.
- (5) The Intelsat X (1002) Spot 3 beam receives in the 14.00 – 14.25 GHz band and transmits in the 12.50 – 12.75 GHz (Band D).

Table 6

EIRP DENSITY LIMITS FOR INTERMODULATION PRODUCTS
(6 GHz)

Uplink Transponder Impacted By Intermodulation Product	Limit* at 10 degree Elevation Angle and Beam Edge (dBW/4 kHz) (1)	Correction Factor (dB)
1. Hemi and Zone (2)	21	– K ₁
2. Global & C-Spot (2)	24	– K ₂

Where: K₁ and K₂ are the correction factors defined in IESS-402 for elevation angles other than 10° and earth station locations other than at beam edge.

NOTES:

- (1) Obtaining these levels involves the suitable choice of operating conditions for all common amplifiers.
- (2) Intelsat VIIIA (805) has hemispheric coverage only.

* See Section 3.3.2.3 for aggregate HPA IMP and output noise EIRP density levels recommended for use in link budget calculations.

Table 7

EIRP DENSITY LIMITS FOR INTERMODULATION PRODUCTS
(14 GHz)

Uplink Transponder Impacted By Intermodulation Product	Limit at 10 degree Elevation Angle and Beam Edge (dBW/4 kHz) (1)		Correction Factor (dB)
	VI	VII, VIIA, VIII, VIIIA (805), IX & X (1002)	
Spot	10	16	- K ₁

Where: K₁ is the correction factor defined in IESS-402 for elevation angles other than 10° and earth station locations other than at beam edge.

NOTES:

- (1) Obtaining these levels involves the suitable choice of operating conditions for all common amplifiers.

Table 8

MAXIMUM POWER FLUX DENSITY (PFD) AT THE EARTH'S SURFACE
(C-Band Downlinks, dBW/m²)

Satellite	Typical PFD Per Transponder			Maximum Total PFD*	
	(Global)	(Hemi/Zone)	(C-Spot)	(A-Pol)**	(B-Pol)**
VI	- 137.1	- 132.1	N/A	- 123.5	- 124.0
VII	- 134.6	- 131.1	- 125.1	- 117.9	-117.9
VIIIA	-134.1	-131.1	-124.5	-117.4	-117.7
VIII	-133.1	-130.1	N/A	-118.8	-118.8
IIIA (805)	N/A	-128.6	N/A	-113.4	-113.4
IX	-130.6	-124.4	N/A	-116.0	-116.0
X (1002)	TBD	TBD	N/A	TBD	TBD

NOTES:

* Maximum total PFD is the PFD resulting from all transponders in a given beam.

** Circularly Polarized Spacecraft

A-pol = A polarization (RHCP), which includes global, hemispheric, and 4 GHz spot beams.

B-pol = B polarization (LHCP), which includes global, zone, and 4 GHz spot beams.

Linearly Polarized Spacecraft [Intelsat VIIIA (805)]

A-pol = Hemi A, which is vertically polarized on the downlink.

B-pol = Hemi B, which is horizontally polarized on the downlink.

Table 9

MAXIMUM POWER FLUX DENSITY AT THE EARTH'S SURFACE
(Ku-Band Downlinks, dBW/m²)

<u>Satellite</u>	<u>Downlink Spot Beams</u>	<u>Typical PFD Per Transponder</u>	<u>Maximum Total PFD*</u>
VI	11 GHz	- 118.3	- 110.4
VII	11 GHz 12 GHz	- 115.4 - 115.4	- 107.4 - 109.1
VIIA	11 GHz 12 GHz	- 112.6 - 113.6	- 106.2 - 108.8
VIII	11 GHz 12 GHz	- 113.5 - 113.5	- 106.2 - 108.7
VIIIA (805)	12 GHz	- 117.1	- 108.9
IX	11 GHz	-115.6	-104.6
X (1002)	11 GHz 12 GHz	TBD	TBD

* Maximum total PFD is the PFD resulting from all transponders in a given beam.

Appendix A

REQUIREMENTS FOR EARTH STATIONS ACCESSING INTELSAT SPACE SEGMENT
WITHOUT SUBMITTING ANTENNA PERFORMANCE DATA

(STANDARD Gx)

STANDARD Gx

A.1 INTRODUCTION

Standard Gx is a sub-classification of Standard G antennas having diameters 4.5 meters or less at C-Band and 3.5 meters or less at Ku-Band which are permitted to access the Intelsat space segment without submitting measured antenna performance data, subject to the constraints on transmit EIRP density identified below.

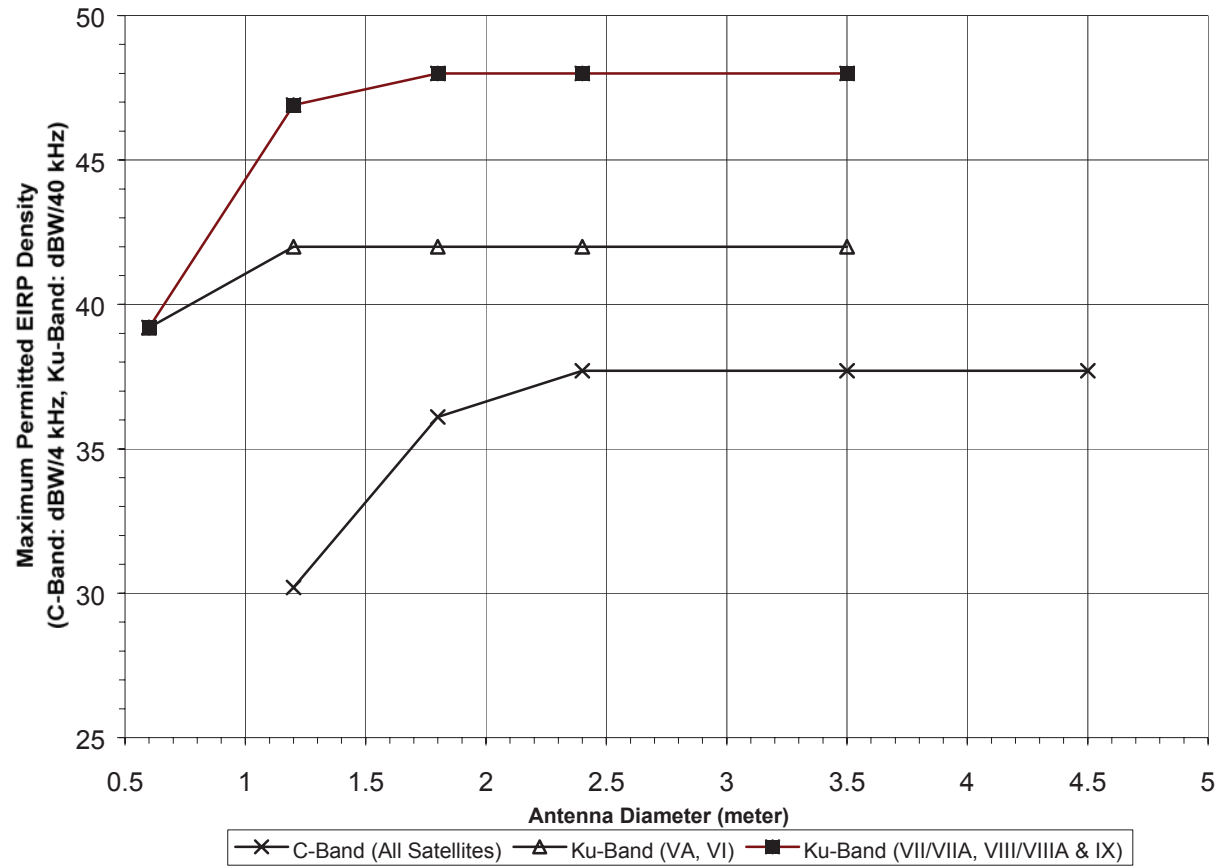
A.2 Maximum Transmit EIRP

C-Band earth stations utilizing antennas with diameters of 4.5 meter or less and Ku-Band earth stations with diameters of 3.5 m or less which have not undergone the standard antenna verification testing process or are not type-approved may access the space segment provided the maximum aggregate transmit EIRP density of all antennas at any uplink frequency, as documented in the approved transmission plan, does not exceed the values shown in Figure A.1. Such antennas will be classified as Standard Gx.

Note:

The above computed EIRP density may not exceed that permitted by the off-axis emission limitations of Rec. ITU-R S.524-7.

Figure A.1
Maximum Permitted EIRP Density Versus Antenna Diameter



Appendix B

REQUIREMENTS FOR EARTH STATIONS EMPLOYING ENHANCED PERFORMANCE
OFFSET-FED ANTENNAS

(STANDARD GE)

STANDARD GE

B.1 INTRODUCTION

Standard GE is a sub-classification of Standard G earth stations which is used for applications requiring increased uplink EIRP capability or increased protection from adjacent satellite interference. This Appendix provides supplementary RF required requirements for Standard GE earth stations. Standard GE earth stations shall comply with the Standard G requirements contained in the main body of this IESS module.

B.2 GENERAL ANTENNA PERFORMANCE CHARACTERISTICS REQUIRED FOR STANDARD GE EARTH STATIONS ACCESSING THE INTELSAT SPACE SEGMENT

B.2.1 Antenna Sidelobe Pattern (6/4 GHz)

(a) Transmit Sidelobe Design Objective

The design objective should be such that the gain of 90 percent of the copolarized and crosspolarized sidelobe peaks does not exceed an envelope described by:

$$\text{First Sidelobe Gain: } G = 15 \log (D/\lambda) - 6 \text{ dBi, } 2.4 \leq D \leq 2.8 \text{ meter.}$$

$$\underline{D \geq 2.4 \text{ meter}}$$

Region Beyond The First Sidelobe:

$G = 22 - 25 \log \theta \text{ dBi,}$	$1^{\circ*}$	\leq	θ	\leq	10.5°
$G = -3.5 \text{ dBi,}$	10.5°	$<$	θ	\leq	26.3°
$G = 32 - 25 \log \theta \text{ dBi,}$	26.3°	$<$	θ	\leq	48°
$G = -10 \text{ dBi,}$			θ	$>$	48°

where: G is the gain of the sidelobe envelope relative to an isotropic antenna in the direction of the geostationary orbit, in dBi.

θ is the angle in degrees between the main beam axis and the direction considered.

* For D/λ below 100, this angle becomes $100 \lambda/D$ degrees.

This requirement should be met within any frequency defined in paragraph 3.2.2 of the main text and for any direction which is within 3° of the geostationary arc (Rec. ITU-R S.580-4).

(b) Transmit Sidelobe Mandatory Requirements

It is required that the gain of 90 percent of the copolarized and crosspolarized sidelobe peaks not exceed an envelope described by the following:

First Sidelobe Gain: $G = 15 \log (D/\lambda) - 6$ dBi, $2.4 \leq D \leq 2.8$ meter.

$D \geq 2.4$ meter

Region Beyond The First Sidelobe:

$G = 25 - 25 \log \theta$ dBi,	$1^{*\circ}$	\leq	θ	\leq	13.8°
$G = -3.5$ dBi,	13.8°	$<$	θ	\leq	26.3°
$G = 32 - 25 \log \theta$ dBi,	26.3°	$<$	θ	\leq	48°
$G = -10$ dBi,	θ	$>$	θ	$>$	48°

Where G and θ are as defined above.

B.2.2 Antenna Sidelobe Pattern (14/11 GHz and 14/12 GHz)

(a) Transmit Sidelobe Design Objective

The design objective should be such that the gain of 90 percent of the copolarized and crosspolarized sidelobe peaks does not exceed an envelope described by:

First Sidelobe Gain: $G = 15 \log (D/\lambda) - 6$ dBi, $1.0 \leq D \leq 1.2$ meter.

$D \geq 1.0$ meter

Region Beyond The First Sidelobe:

$G = 22 - 25 \log \theta$ dBi,	$1^{*\circ}$	\leq	θ	\leq	10.5°
$G = -3.5$ dBi,	10.5°	$<$	θ	\leq	26.3°
$G = 32 - 25 \log \theta$ dBi,	26.3°	$<$	θ	\leq	48°
$G = -10$ dBi,	θ	$>$	θ	$>$	48°

where G and θ are as defined above.

* For D/λ below 100, this angle becomes $100 \lambda/D$ degrees.

This requirement should be met within any frequency defined in paragraph 3.2.2 of the main text in any direction within 3° of the geostationary arc.

(b) Transmit Sidelobe Mandatory Requirements

It is required that the gain of 90 percent of the copolarized and crosspolarized sidelobe peaks not exceed an envelope described by the following:

First Sidelobe Gain: $G = 15 \log (D/\lambda) - 6$ dBi, $1.0 \leq D \leq 1.2$ meter.

$D \geq 1.0$ meter

Region Beyond The First Sidelobe:

$G = 25 - 25 \log \theta$ dBi,	$1^{\circ*} \leq \theta \leq 13.8^{\circ}$
$G = -3.5$ dBi,	$13.8^{\circ} < \theta \leq 26.3^{\circ}$
$G = 32 - 25 \log \theta$ dBi,	$26.3^{\circ} < \theta \leq 48^{\circ}$
$G = -10$ dBi,	$\theta > 48^{\circ}$

where G and θ are as defined above.

This requirement should be met within any frequency defined in paragraph 3.2.2 of the main text in any direction within 3° of the geostationary arc.

B.2.3 Receive Sidelobes

In order to protect receive signals from interference arising elsewhere, restrictions must also be placed on the receive sidelobe characteristics. Therefore, while not mandatory, it is recommended that the transmit sidelobe characteristics apply to the receive band as well.

Interference protection will be afforded only to the following sidelobe envelope:

First Sidelobe Gain: $G = 15 \log (D/\lambda) - 6$ dBi,

$2.4 \leq D \leq 2.8$ meter, C-Band

$1.0 \leq D \leq 1.2$ meter, Ku-Band

$D \geq 2.4$ meter in C-Band and $D \geq 1.0$ meter in Ku-Band

Region Beyond The First Sidelobe:

$G = 25 - 25 \log \theta$ dBi,	$1^{\circ} \leq \theta \leq 13.8^{\circ}$
$G = -3.5$ dBi,	$13.8^{\circ} < \theta \leq 26.3^{\circ}$

APPENDIX B to
IESS-601 (Rev. 12)
Page B-5

$$G = 32 - 25 \log \theta \text{ dBi}, \quad 26.3^\circ < \theta \leq 48^\circ$$

$$G = -10 \text{ dBi}, \quad \theta > 48^\circ$$

e)

where G and θ are as defined above.

B.2.4 Transmit and Receive Axial Ratio

The following voltage axial ratio requirements apply to the full bandwidth specified in paragraph 3.2.2 of the main text.

- (a) Circularly Polarized Antennas Operating in the 5.925 – 6.425 GHz and 3.700 – 4.200 GHz Bands (500 MHz)*

The voltage axial ratio of transmission in the direction of the satellite shall not exceed the following values everywhere within a cone centered on the main beam axis and whose angle is defined by the antenna tracking and/or pointing errors.

Antenna Diameter (m)	2.4	> 2.4
Voltage Axial Ratio	1.18	1.056
Polarization Discrimination (dB)	21.7	31.3

- (b) Antennas Operating in the 5.850 – 6.650 GHz and 3.400 – 4.200 GHz (800 MHz) Bands of Intelsat VIIIA (805) and APR1

Linearly Polarized Antennas* With Diameter 4.5 Meters or Smaller

The voltage axial ratio of transmission in the direction of the satellite shall exceed 35.5 (31.0 dB polarization discrimination) everywhere within a cone centered on the main beam axis and whose angle is defined by the antenna tracking and/or pointing errors.

- (c) Antennas Operating in the 14/11 or 12 GHz Bands with Intelsat VI, VII/VIIA, VIII/VIIIA (805), IX and X (1002).

Antennas with Diameter 2.5 Meters or Larger

The voltage axial ratio of transmission in the direction of the satellite shall exceed 50.1 (34.0 dB polarization discrimination) everywhere within a cone centered on the main beam axis and whose angle is defined by the antenna tracking and/or pointing errors. It is recommended that this axial ratio be exceeded for reception.

* These requirements also apply to earth stations operating in the 5.850 – 6.425 GHz and 3.625 – 4.200 GHz (575 MHz) bands on Intelsat VI, VIII and X (1002), and for antennas accessing Intelsat VIIIA (805) which do not equip for operation with the full 800 MHz extended C-Band.

Antennas With Diameter Larger Than 0.9 Meter and Less Than 2.5 Meter

The voltage axial ratio of transmission in the direction of the satellites all exceed 31.6 (30.0 dB polarization isolation) everywhere within a cone centered on the main beam axis and whose angle is defined by the antenna tracking and/or pointing errors. It is recommended that this axial ratio be exceeded for reception.

Appendix C

ITU REFERENCES

Radiocommunication Sector Recommendations:

Rec. ITU-R S.465-5	Reference Earth Station Radiation Pattern For Use In Coordination And Interference Assessment In The Frequency Range From 2 to about 30 GHz.
Rec. ITU-R S.524-7	Maximum Permissible Levels Of Off-Axis EIRP Density From Earth Stations In The Fixed-Satellite Service Transmitting In The 6 and 14 GHz Frequency Bands
Rec. ITU-R S.580-5	Radiation Diagrams For Use As Design Objectives For Antennas Of Earth Stations Operating With Geostationary Satellites.
Rec. ITU-R SM.329	Spurious Emissions
Rec. ITU-R SM.1539	Variation Of The Boundary Between The Out-Of-Band And Spurious Domains Required For The Application Of Recommendations ITU-R SM.1541 and ITU-R SM.329
Rec. ITU-R SM.1541	Unwanted Emissions In The Out-Of-Band Domain

ITU Radio Regulations:

Appendix 3: Table Of Maximum Permitted Spurious Emission Levels
Radio Regulation Article 1, Numbers 148 and 149
Radio Regulation Article 1, Numbers 1.144 and 1.145

Appendix D

REVISION HISTORY

<u>Revision No.</u>	<u>Approval Date</u>	<u>Major Purpose</u>
Original	10 Dec 1987	<ul style="list-style-type: none">• New module.
1	21 Jun 1989	<ul style="list-style-type: none">• Relax voltage axial ratio to 1.3 for small C-Band antennas.• Add CCIR/CCITT references
2	13 Jun 1990	<ul style="list-style-type: none">• Incorporate Intelsat VII and K, delete Intelsat IVA.• Add revision history.
3	09 Dec 1991	<ul style="list-style-type: none">• Unify terminology by replacing terms such as applicants, earth station operating entities, owners, etc., with users.• Update CCIR references.• Clarify the requirement for the allowable energy density of intermodulation products at 6 GHz (Table 3).• Make the polarization requirements of Table 1 mandatory (para. 3.1.2.1).• Add a mandatory Ku-Band polarization requirement to para. 3.1.2.1. Added Table 2.• Add mandatory requirement for 1 degree Ku-Band antenna polarization adjustment accuracy (para. 3.1.2.2).• Add mandatory requirement for Ku-Band antenna transmit axial ratio (para. 3.1.2.3).• Clarify how antenna steering data will be provided (para. 3.1.3.3).• Add requirement for uplink power control (para. 3.1.3.4).

APPENDIX D

REVISION HISTORY

<u>Revision No.</u>	<u>Approval Date</u>	<u>Major Purpose</u>
		<ul style="list-style-type: none">• Clarify the transponder translation frequency tolerance for Intelsat VA (IBS) and K (para. 3.2.3).• Update the 14 GHz band off-beam emission limits to be consistent with CCIR Recommendation 524-3 (para. 3.3.1).
4	09 Feb 1994	<ul style="list-style-type: none">• Incorporate Intelsat VIIA.• Extend Standard G definition to include earth stations supporting both domestic and international lease services. (Standard Z designation will no longer be used for new earth stations accessing the leased space segment) (para. 1.1)• Clarify that all Standard A, B, C, D-2, E earth stations may operate as a Standard G. Standard F and D-1 terminals meeting a 1.09 axial ratio over the 5.925 – 6.425 GHz band may also operate as a Standard G. (para. 1.4)• Update transmit and receive antenna sidelobe requirement to be consistent with Rec. ITU-R S.580.4 (para. 3.1.1)• Update recommended antenna steerability limits. Add APR region (para. 3.1.3.1).• Update source of antenna steering data (para. 3.1.3.3).• Relax clear-weather EIRP stability requirement to permit larger decrease of EIRP under special conditions. Clarify that ULPC systems should restore EIRP to -1.5 dB of nominal value under adverse weather conditions (para. 3.1.3.4).

APPENDIX D

REVISION HISTORY

<u>Revision No.</u>	<u>Approval Date</u>	<u>Major Purpose</u>
		<ul style="list-style-type: none">• Clarify that minimum operational bandwidth requirement of terminals operating in the 14/11 GHz bands with antennas smaller than 3.8 meters applies only to the antenna feed elements.• Relax RF frequency tolerance for low rate digital carriers (para. 3.2.4).• Update ITU nomenclature and references to reflect Radio Communications Sector recommendations (Appendix A).
5	25 Aug. 1994	<ul style="list-style-type: none">• Incorporate Intelsat VIII and VIIIA, including bandwidth requirements for operation in the extended C-Bands of Intelsat VIIIA.• Add paragraph concerning Faraday rotation and detailing recommended time periods for aligning linearly polarized C-Band antenna feeds (para. 3.1.2.1).• Add special condition for antennas with diameters in the range of 4.5 to 7 meters which utilize meanderline polarizers (para. 3.1.2.3).• Add section 3.5 and associated Tables 6(a) and 6(b) giving maximum and typical earth station receive PFD levels.
6	15 Aug. 1995	<ul style="list-style-type: none">• Add requirement that Ku-Band earth stations built prior to 1993 may be required to supply measured data of transmit polarization isolation (para. 3.1.2.3 (c)).

APPENDIX D

REVISION HISTORY

<u>Revision No.</u>	<u>Approval Date</u>	<u>Major Purpose</u>
7	15 May 1997	<ul style="list-style-type: none">• Relax requirement for transmit polarization isolation of Ku-Band earth stations with antenna diameters 2.5 m or smaller (para. 3.1.2.3 (d)).• Clarify earth station classification procedure (para. 1.1).• Incorporate Standard Gx requirements (para. 3.1.2.3).• Clarify necessity for considering cross-polar isolation in the process of allocating EIRP instability allowance between tracking/pointing and RF equipment level fluctuation (para. 3.1.3.4).• Align clear-weather spurious emission requirements with those in other IESS modules (para. 3.3.2).
8	5 Nov 1997	<ul style="list-style-type: none">• Add EIRP stability requirements for non-tracking earth stations (para. 3.1.3.4(a))• Move Standard Gx requirements to Appendix A.• Incorporate Standard GE requirements (Appendix B).
9	30 Nov 1998	<ul style="list-style-type: none">• Delete reference to Intelsat VA (IBS) and satellites transferred to New Skies Satellites.
10	10 Feb 2000	<ul style="list-style-type: none">• Include Intelsat IX.• Delete Intelsat V.

APPENDIX D

REVISION HISTORY

<u>Revision No.</u>	<u>Approval Date</u>	<u>Major Purpose</u>
10A	20 Nov 2000	<ul style="list-style-type: none">• Add recommendation for the aggregate level of earth station HPA IM and noise to use in link budget calculations.
11	07 Oct 2002	<ul style="list-style-type: none">• Editorial updates: change INTELSAT to Intelsat and font from Times New Roman to Arial.• Add Radio Regulations requirements for unwanted emissions outside the satellite band.
12	10 March 2005	<ul style="list-style-type: none">• Slightly revise the wording for the Radio Regulations requirements for unwanted emissions outside the satellite band.• Delete Intelsat VA.• Include Intelsat X (1002).



Technical Handbook
for the
Intelsat 14 Spacecraft
at 315° East Longitude

3Q 2009

Proprietary Notice:

This document contains information, which is subject to revision and should be used for informational purposes only as a guide to expected spacecraft performance. This information is proprietary to Intelsat and may not be reproduced or distributed without its consent. Intelsat assumes no responsibility for inaccuracies herein or any liabilities, which may result from use of inaccurate information. Intelsat's provision of the information contained herein shall not constitute a representation or warranty by Intelsat and shall not amend, alter or otherwise modify any of the rights or obligations of Intelsat or its customers under any contract or agreement between Intelsat and any customer.



Table of Content

General Satellite Information	4
Intelsat 14 C-Band Payload	5
C-Band Interconnection Matrix, and Frequency Plan.....	6
C-Band Transponder Layout.....	7
C-Band Contour Maps.....	8
EAFCH Uplink Beam.....	8
EAFCV Uplink Beam.....	9
EAFCL Uplink Beam.....	10
EAFCR Uplink Beam.....	11
AMCH Uplink Beam.....	12
AMCV Uplink Beam.....	13
EAFCH Downlink Beam.....	14
EAFCV Downlink Beam.....	15
EAFCL Downlink Beam.....	16
EAFCR Downlink Beam.....	17
AMCH Downlink Beam.....	18
AMCV Downlink Beam.....	19
Intelsat 14 Ku-Band Payload	20
Ku-Band Interconnection Matrix, and Frequency Plan.....	21
Ku-Band Transponder Layout.....	22
Ku-Band Contour Maps.....	23
UEFKH Uplink Beam.....	23
UEFKV Uplink Beam.....	24
AMKH Uplink Beam.....	25
AMKV Uplink Beam.....	26
UEFKH Downlink Beam.....	27
UEFKV Downlink Beam.....	28
AMKH Downlink Beam.....	29
AMKV Downlink Beam.....	30



For Information on the Technical Handbook, please contact the
Customer Sales Engineering Department in any of the following Locations:

Worldwide Headquarters

3400 International Drive, N.W.
Washington D.C. 20008
USA
Tel: +1 202 944 7745
Mail: CSE-HQ@intelsat.com

Europe/Middle East Office

Building 3, Chiswick Park
566 Chiswick High Road
London W4 5YA
United Kingdom
Tel: +44 208 899 6857
Mail: CSE-EMA@intelsat.com

Africa Office

138 West Street
Second Floor
Sandton
South Africa
Tel: +27 12 678 9026
Mail: CSE-Africa@intelsat.com

Latin America Office

1 Alhambra Plaza
Suite 1100
Coral Gables, FL 33134
USA
Tel: +1 786 206 4017
Mail: CSE-LA@intelsat.com

Asia Office

Intelsat Singapore Pte. Ltd.
80 Robinson Road
#14-02
Singapore 68898
Tel: +65 62 27 6430
Mail: CSE-AP@intelsat.com



General Satellite Information

Spacecraft Type: Three-Axis Stabilized

Orbital Location: 315.0° East Longitude

Orbital Control: +/- 0.05°

Launch: 3Q 2009

Payload:

C-Band:	20 x 36 MHz	Linear transponders
	8 x 72 MHz	Linear transponders
	12 x 36 MHz	Circular transponders
Ku-Band:	20 x 36 MHz	Linear transponders
	2 x 72 MHz	Linear transponders

Frequency Bands:

C-Band:	Uplink	5925 – 6425 MHz
	Downlink	3700 – 4200 MHz
Ku-Band:	Uplink	14.00 – 14.50 GHz
	Downlink	11.45 – 11.95 GHz

Beacons:

- 3704 MHz (Horizontal)
- 3705 MHz (Vertical)
- 11694 MHz (Vertical)
- 11695 MHz (Horizontal)



Intelsat 14 C-Band Payload

Number of Transponders:	20 x 36 MHz Linear transponders 8 x 72 MHz Linear transponders 12 x 36 MHz Circular transponders
Transponder Bandwidth:	36 MHz with 4 MHz Guard Bands 72 MHz with 8 MHz Guard Bands
Polarization:	Linear: Horizontal and Vertical Circular: LHCP and RHCP
SFD (at Beam Reference Contour):	-94.0 to -73.0 dBW/m ²
Input Attenuators:	21 dB in 1 dB steps.
G/T:	> -6.5 dB/K typical for Europe/Africa > -7.0 dB/K typical for Americas
EIRP:	> 36.0 dBW typical for Europe/Africa > 36.0 dBW typical for Americas

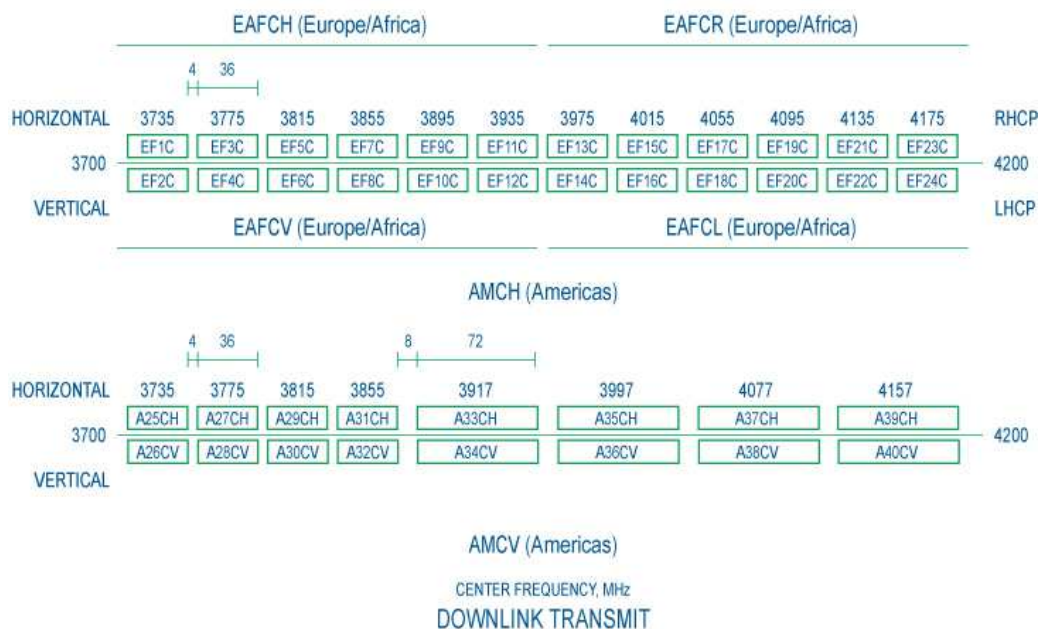
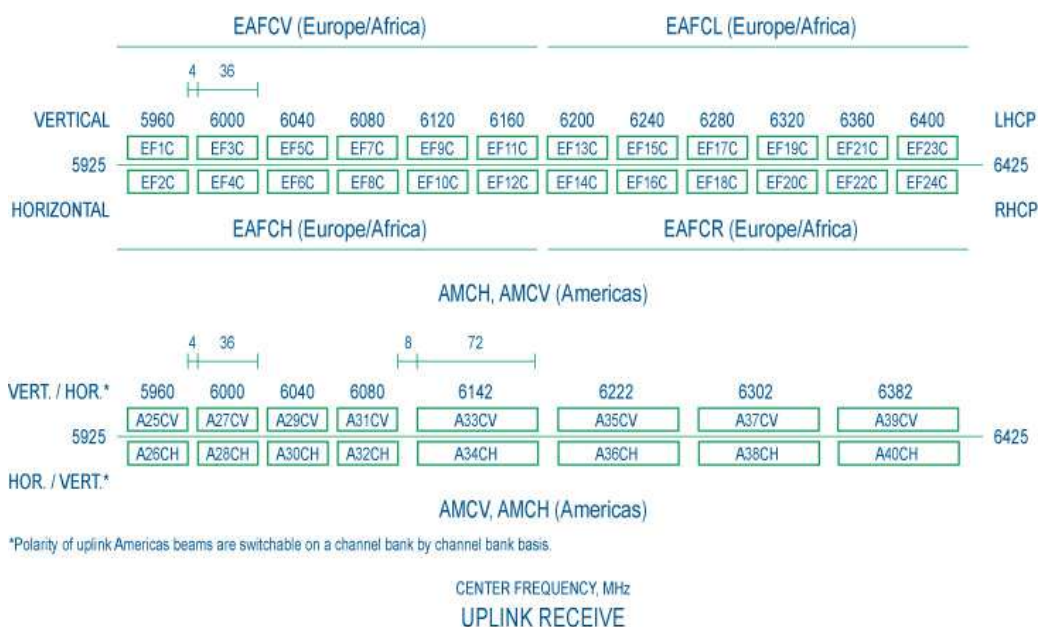


C-Band Interconnection Matrix, and Frequency Plan

DOWNLINK			UPLINK						CENTER FREQUENCY (MHz)	
Channel	Pol	Coverage	C-Band						Satellite Receive (Uplink)	Satellite Transmit (Downlink)
			Europe/Africa Linear		Europe/Africa Circular		Americas Linear			
			V	H	LHCP	RHCP	V	H		
EF1C	H	Europe/Africa	EF1C						5960	3735
EF3C	H	Europe/Africa	EF3C						6000	3775
EF5C	H	Europe/Africa	EF5C						6040	3815
EF7C	H	Europe/Africa	EF7C						6080	3855
EF9C	H	Europe/Africa	EF9C						6120	3895
EF11C	H	Europe/Africa	EF11C						6160	3935
EF2C	V	Europe/Africa		EF2C					5960	3735
EF4C	V	Europe/Africa		EF4C					6000	3775
EF6C	V	Europe/Africa		EF6C					6040	3815
EF8C	V	Europe/Africa		EF8C					6080	3855
EF10C	V	Europe/Africa		EF10C					6120	3895
EF12C	V	Europe/Africa		EF12C					6160	3935
EF13C	RHCP	Europe/Africa			EF13C				6200	3975
EF15C	RHCP	Europe/Africa			EF15C				6240	4015
EF17C	RHCP	Europe/Africa			EF17C				6280	4055
EF19C	RHCP	Europe/Africa			EF19C				6320	4095
EF21C	RHCP	Europe/Africa			EF21C				6360	4135
EF23C	RHCP	Europe/Africa			EF23C				6400	4175
EF14C	LHCP	Europe/Africa				EF14C			6200	3975
EF16C	LHCP	Europe/Africa				EF16C			6240	4015
EF18C	LHCP	Europe/Africa				EF18C			6280	4055
EF20C	LHCP	Europe/Africa				EF20C			6320	4095
EF22C	LHCP	Europe/Africa				EF22C			6360	4135
EF24C	LHCP	Europe/Africa				EF24C			6400	4175
A25CH	H	Americas						A25CV A25CH	5960	3735
A27CH	H	Americas						A27CV A27CH	6000	3775
A29CH	H	Americas						A29CV A29CH	6040	3815
A31CH	H	Americas						A31CV A31CH	6080	3855
A33CH	H	Americas						A33CV A33CH	6142	3917
A35CH	H	Americas						A35CV A35CH	6222	3997
A37CH	H	Americas						A37CV A37CH	6302	4077
A39CH	H	Americas						A39CV A39CH	6382	4157
A26CV	V	Americas						A26CV A26CH	5960	3735
A28CV	V	Americas						A28CV A28CH	6000	3775
A30CV	V	Americas						A30CV A30CH	6040	3815
A32CV	V	Americas						A32CV A32CH	6080	3855
A34CV	V	Americas						A34CV A34CH	6142	3917
A36CV	V	Americas						A36CV A36CH	6222	3997
A38CV	V	Americas						A38CV A38CH	6302	4077
A40CV	V	Americas						A40CV A40CH	6382	4157



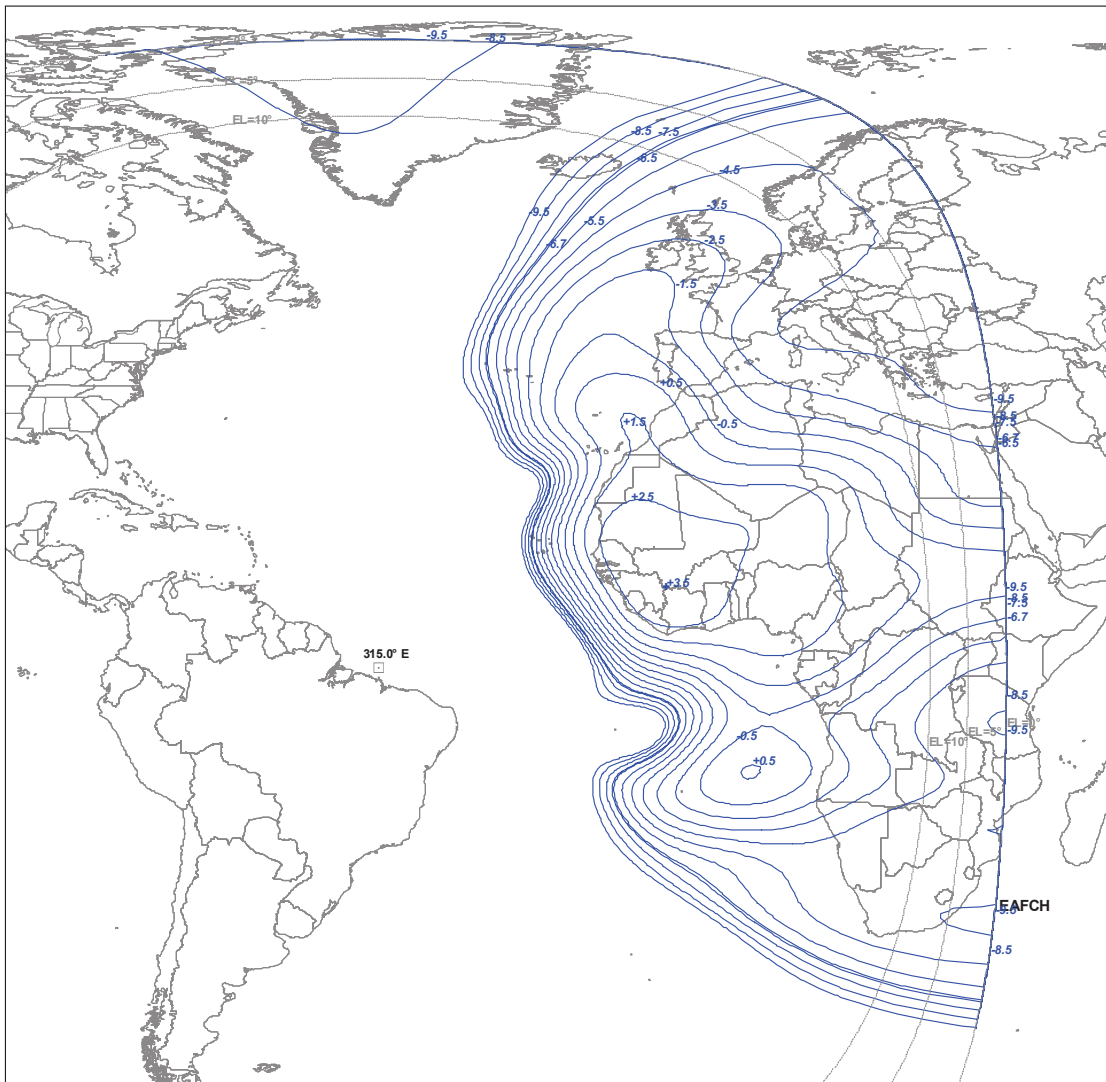
C-Band Transponder Layout





C-Band Contour Maps

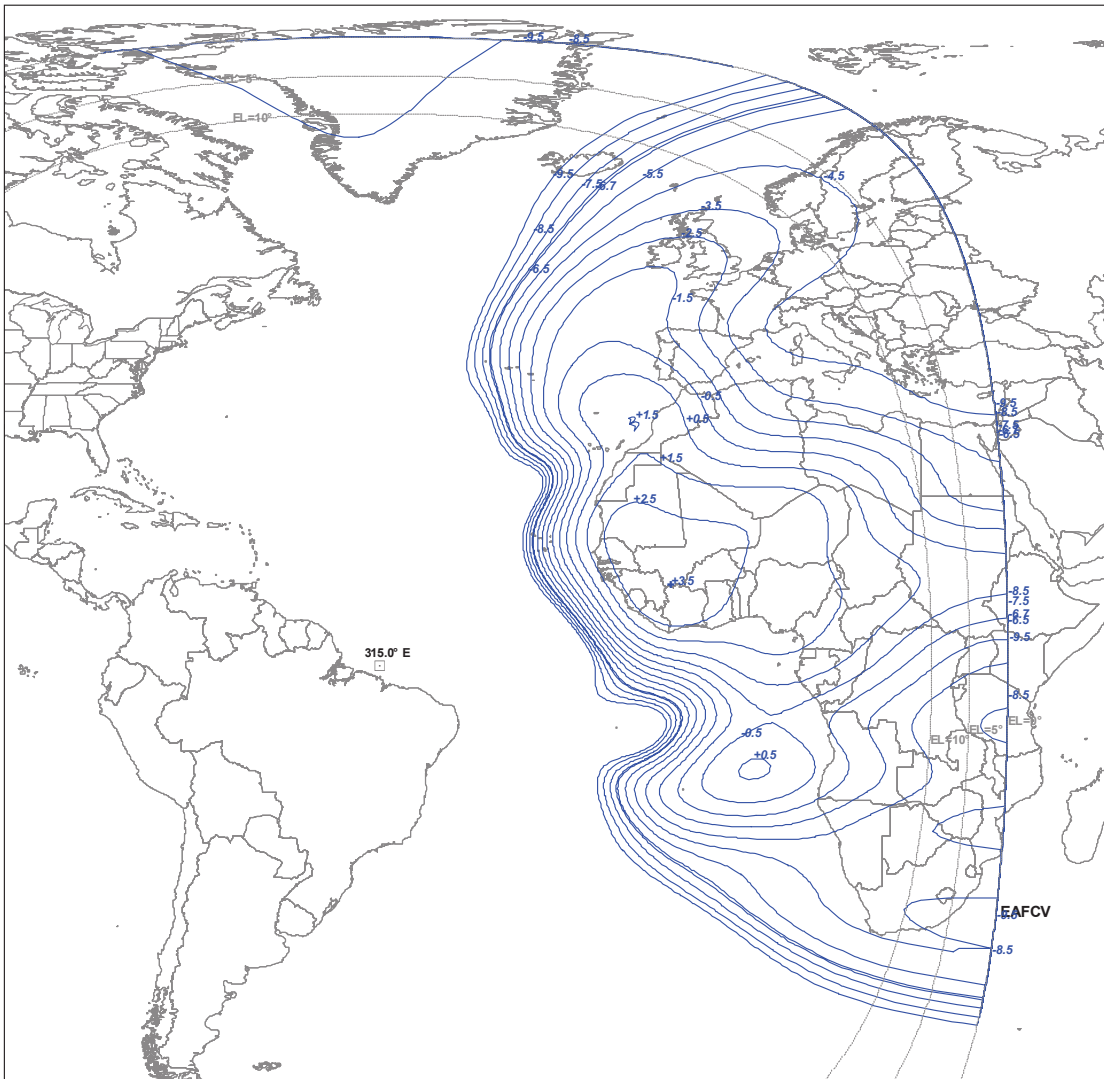
EAFCH Uplink Beam





C-Band Contour Maps

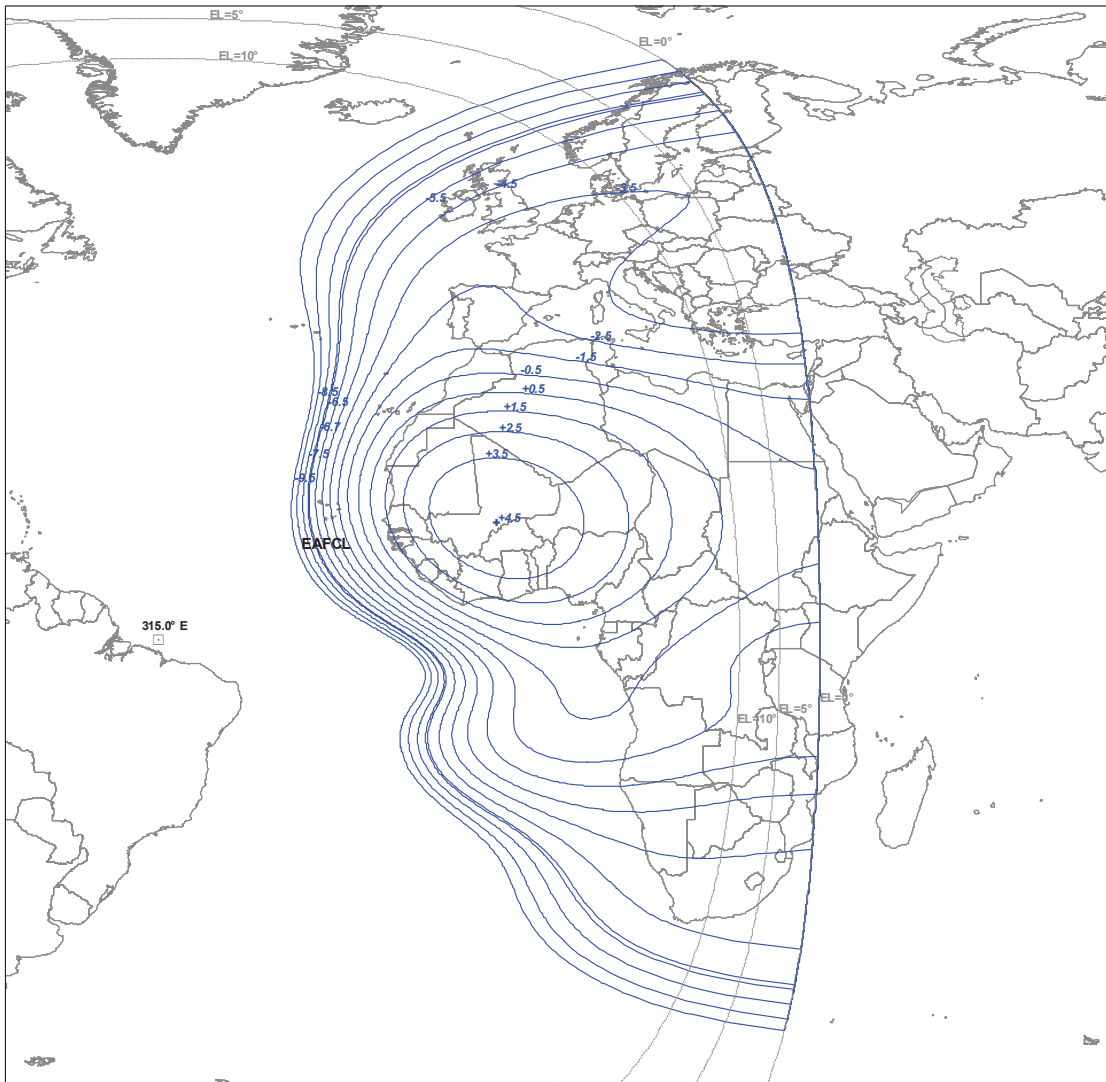
EAFCV Uplink Beam





C-Band Contour Maps

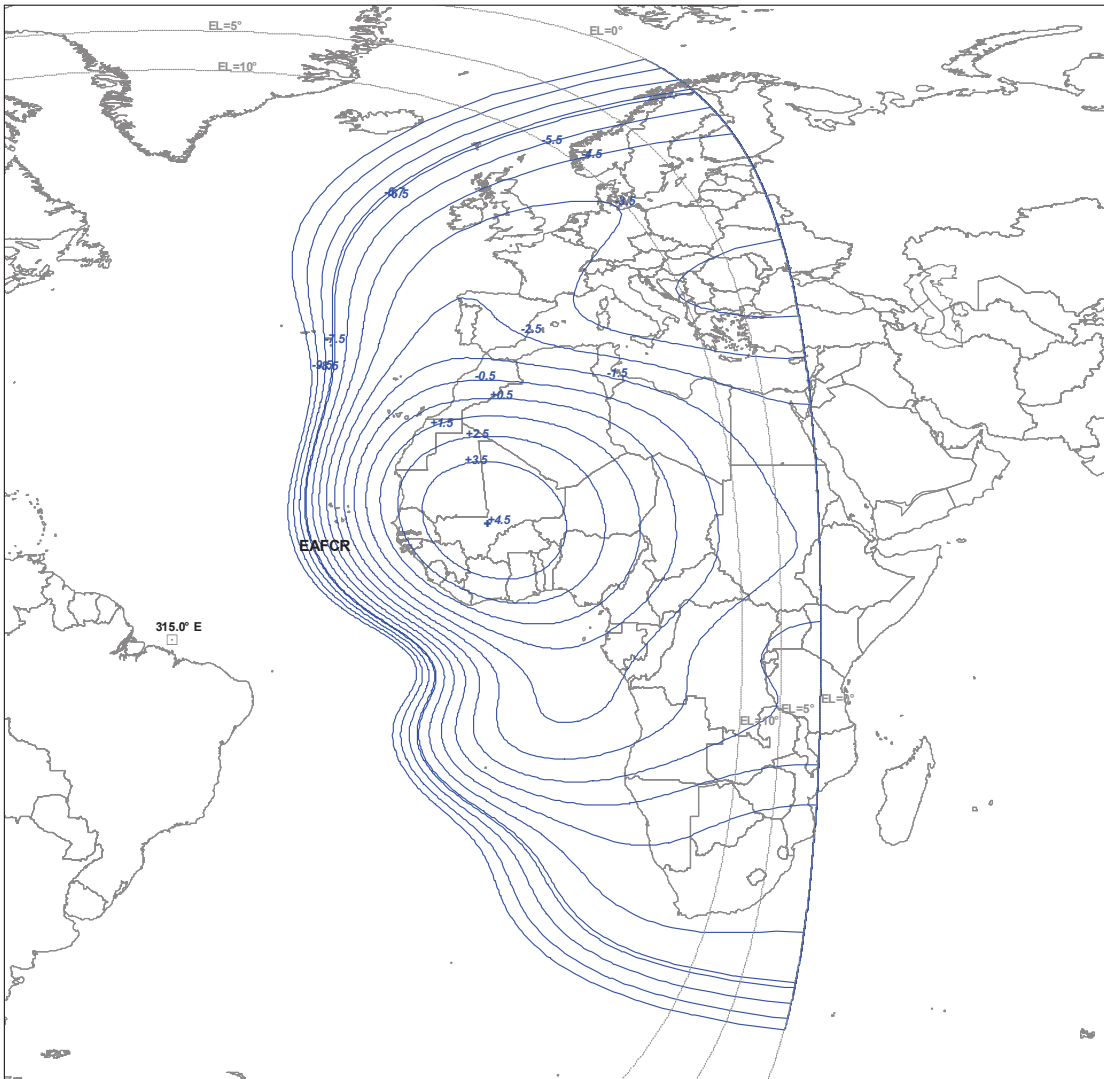
EAFLCL Uplink Beam





C-Band Contour Maps

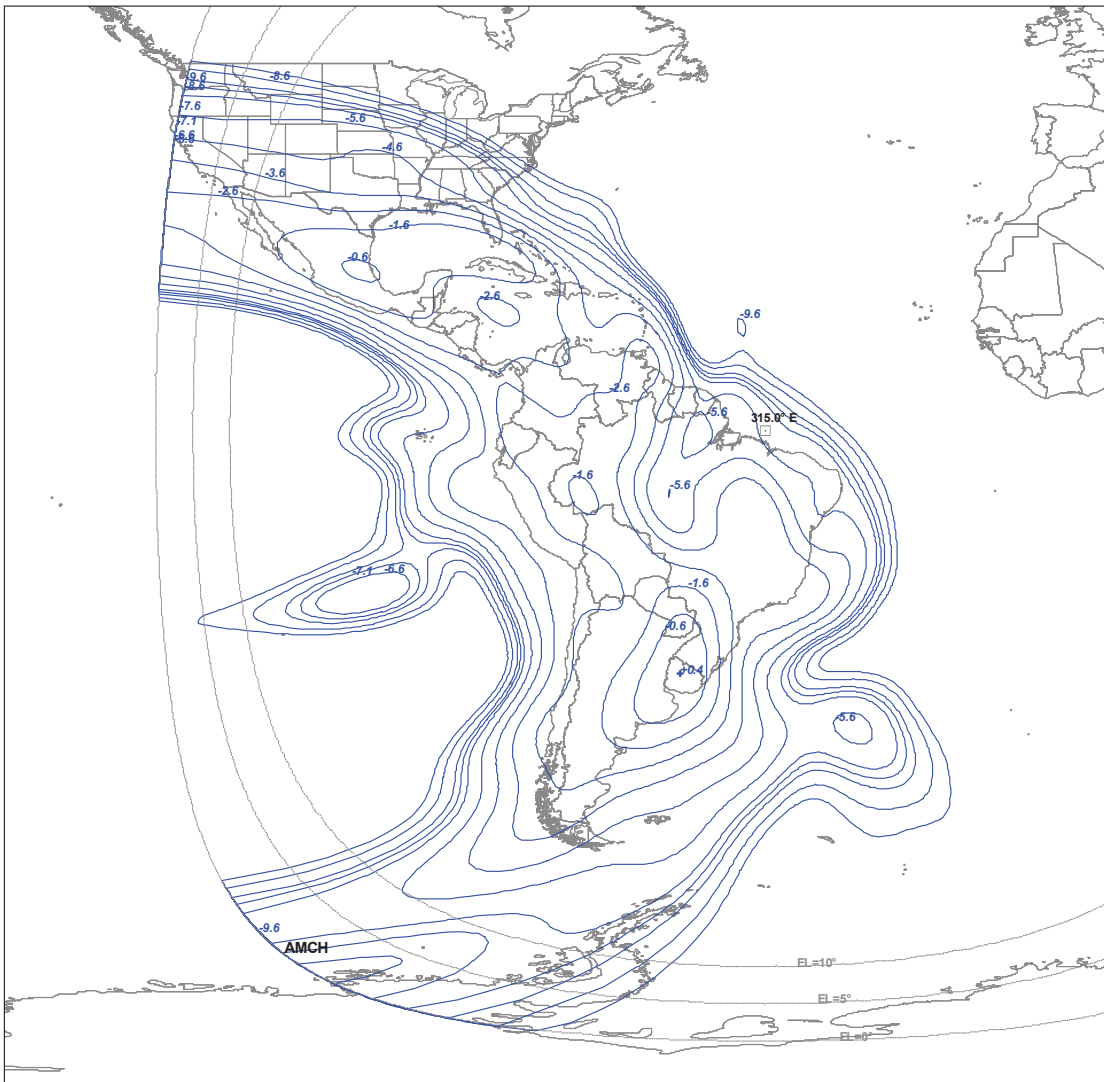
EAFCR Uplink Beam





C-Band Contour Maps

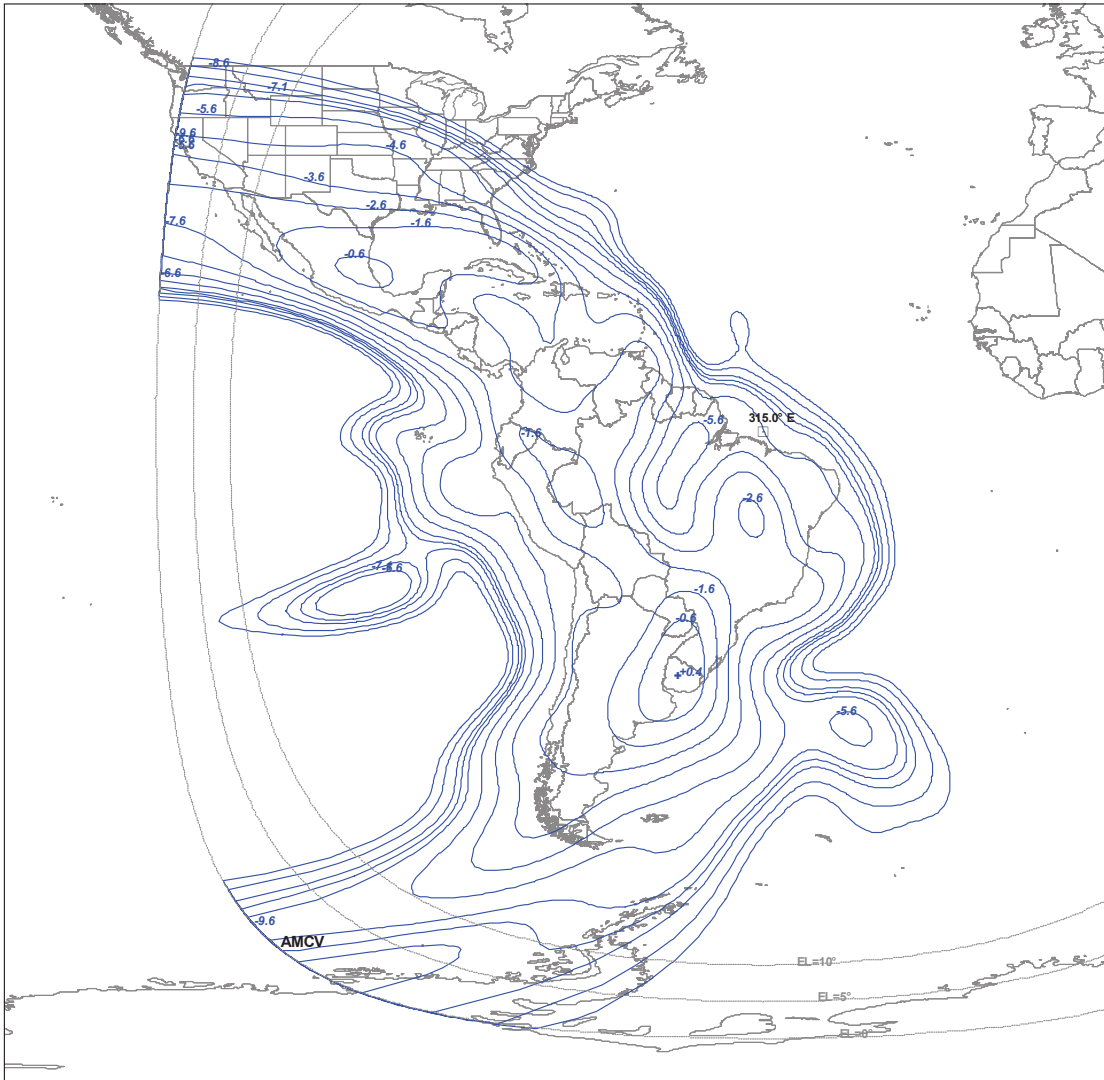
AMCH Uplink Beam





C-Band Contour Maps

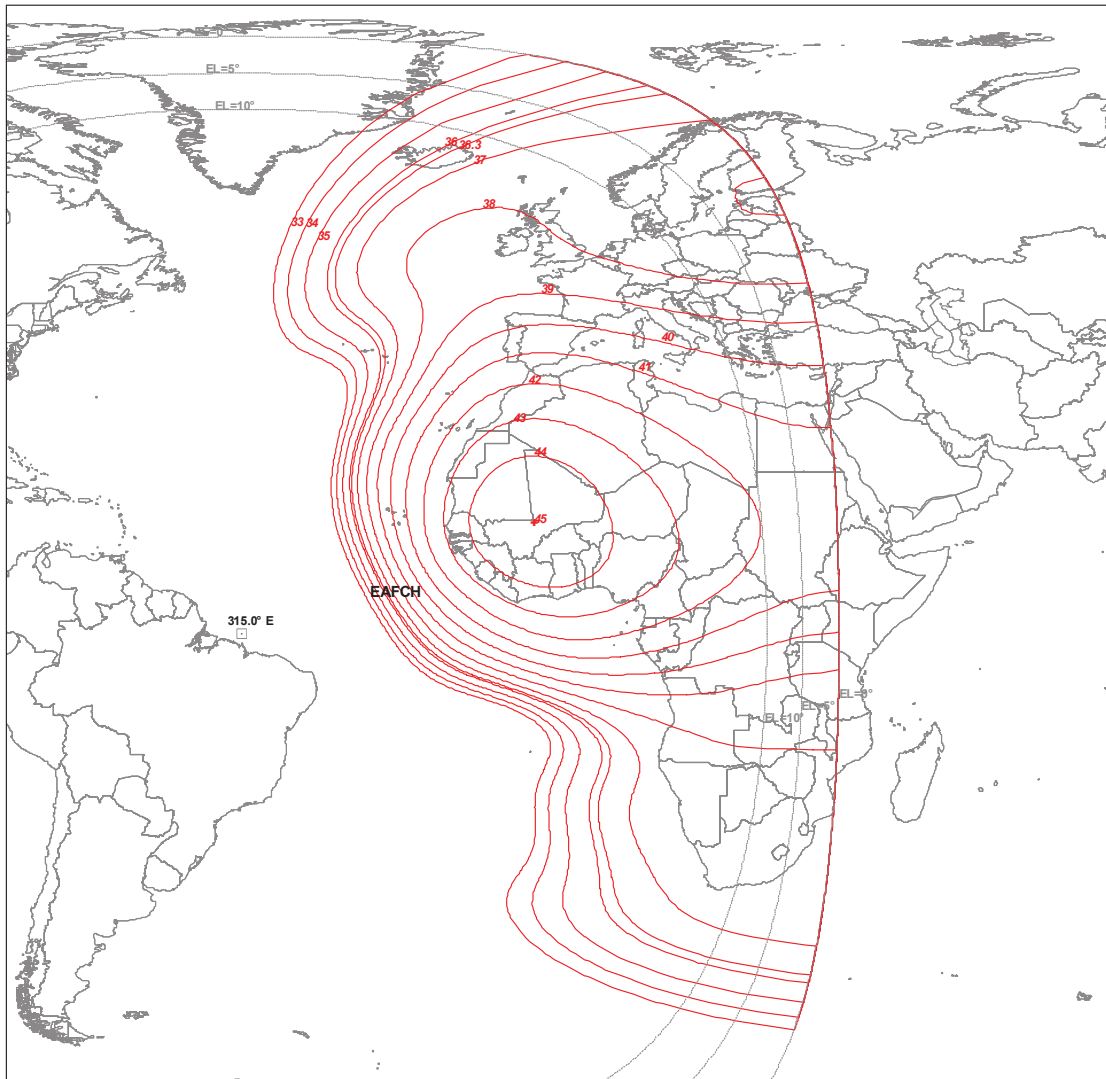
AMCV Uplink Beam





C-Band Contour Maps

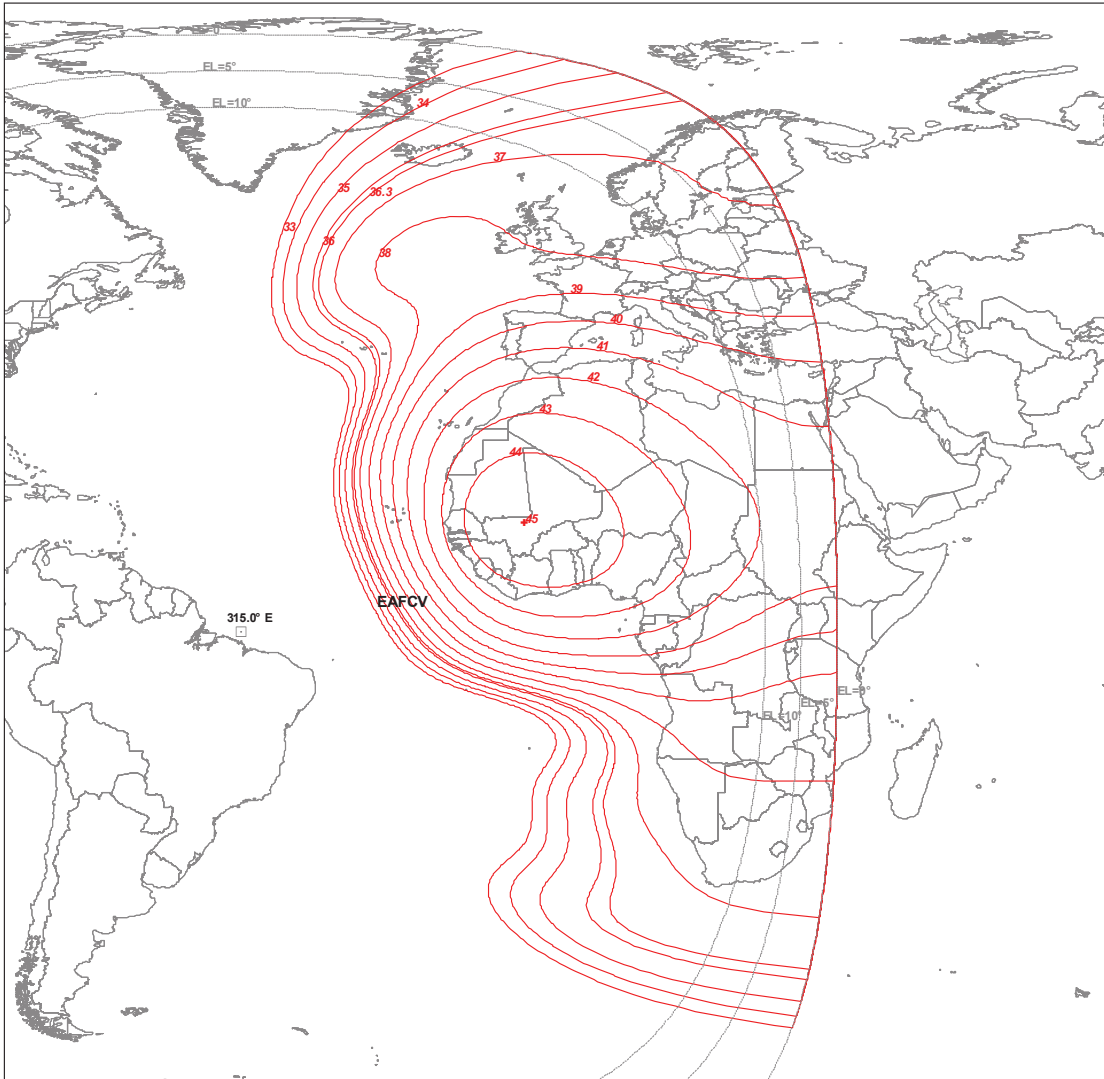
EAFCH Downlink Beam





C-Band Contour Maps

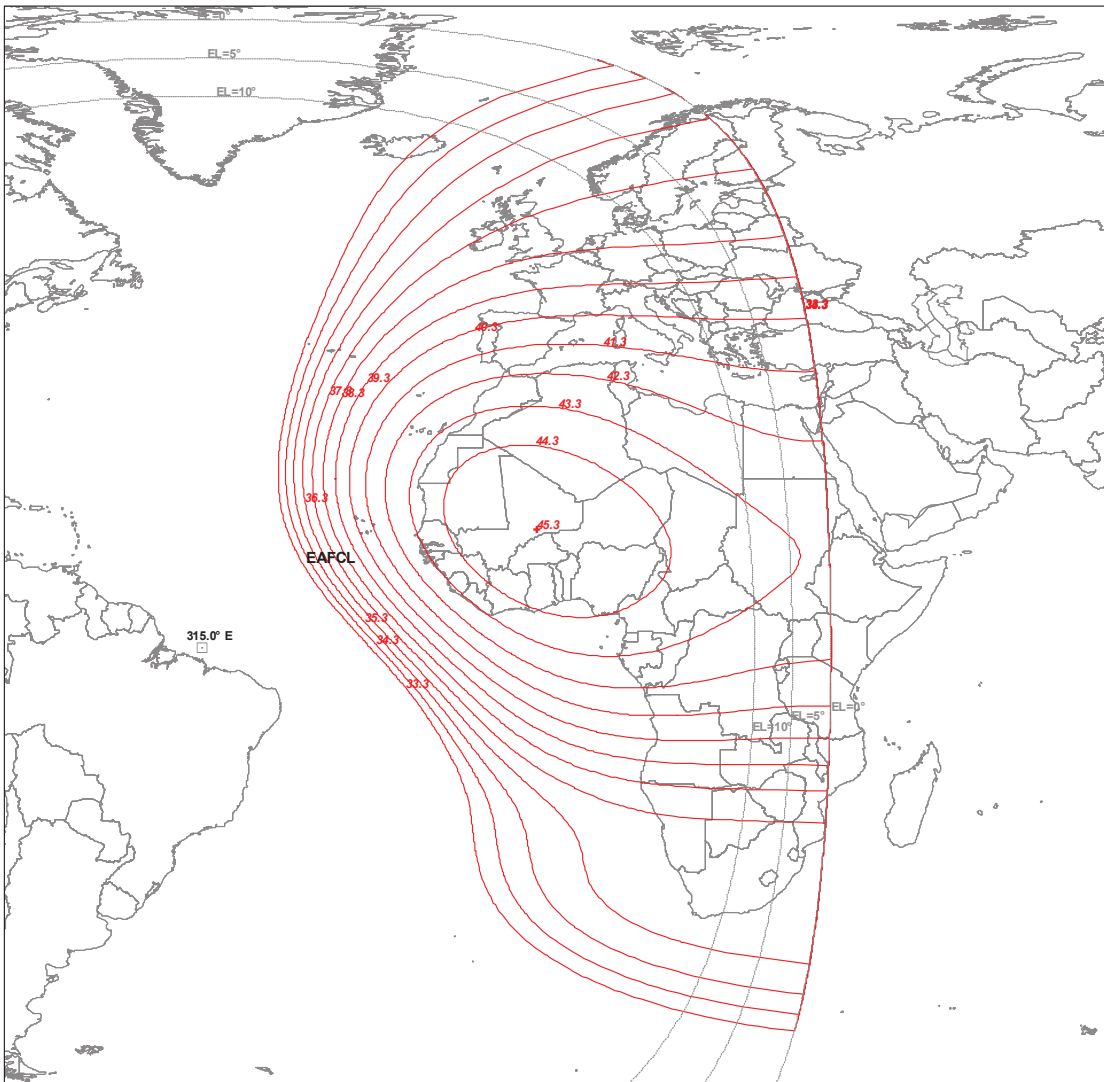
EAFCV Downlink Beam





C-Band Contour Maps

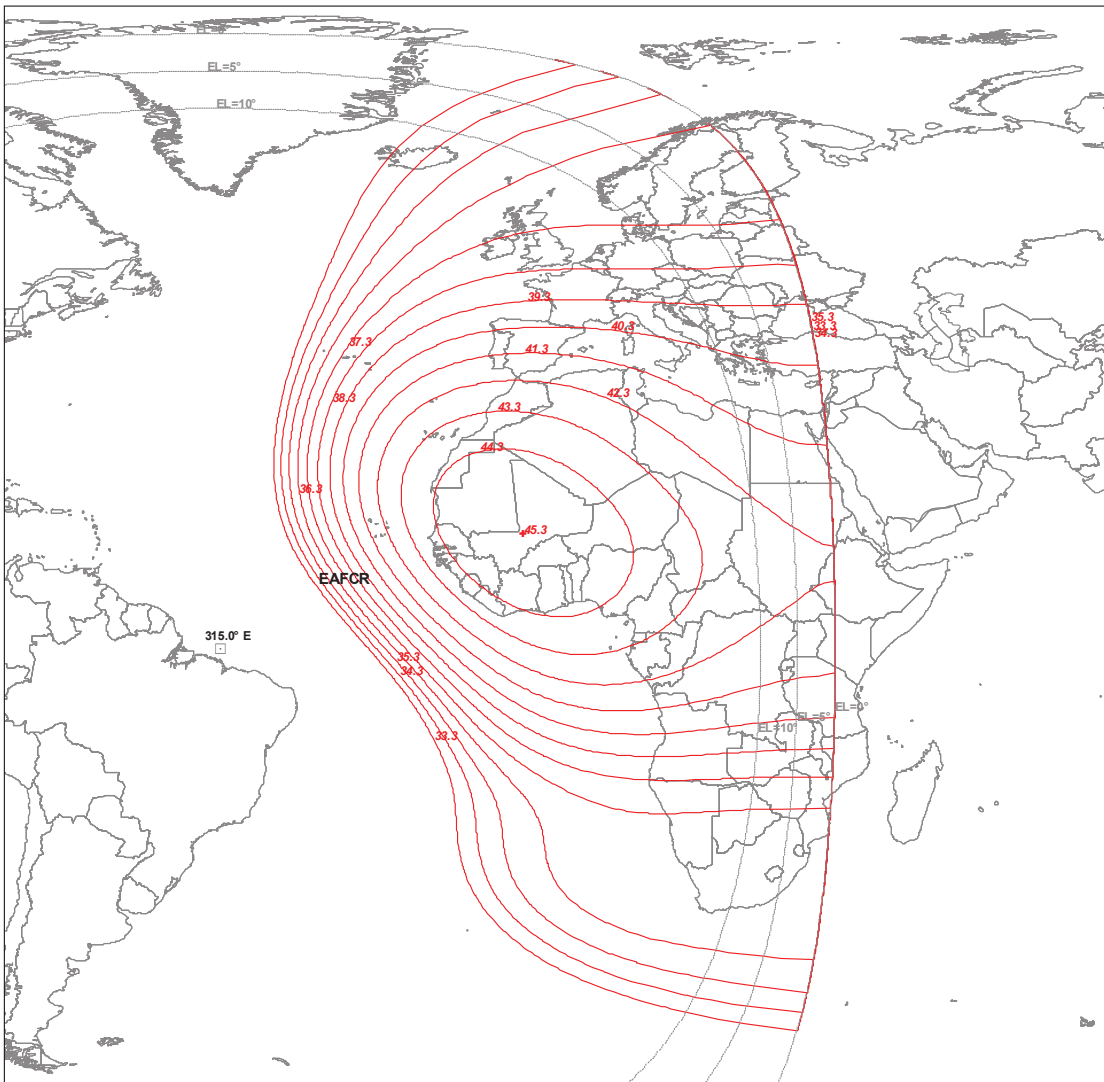
EAFCL Downlink Beam





C-Band Contour Maps

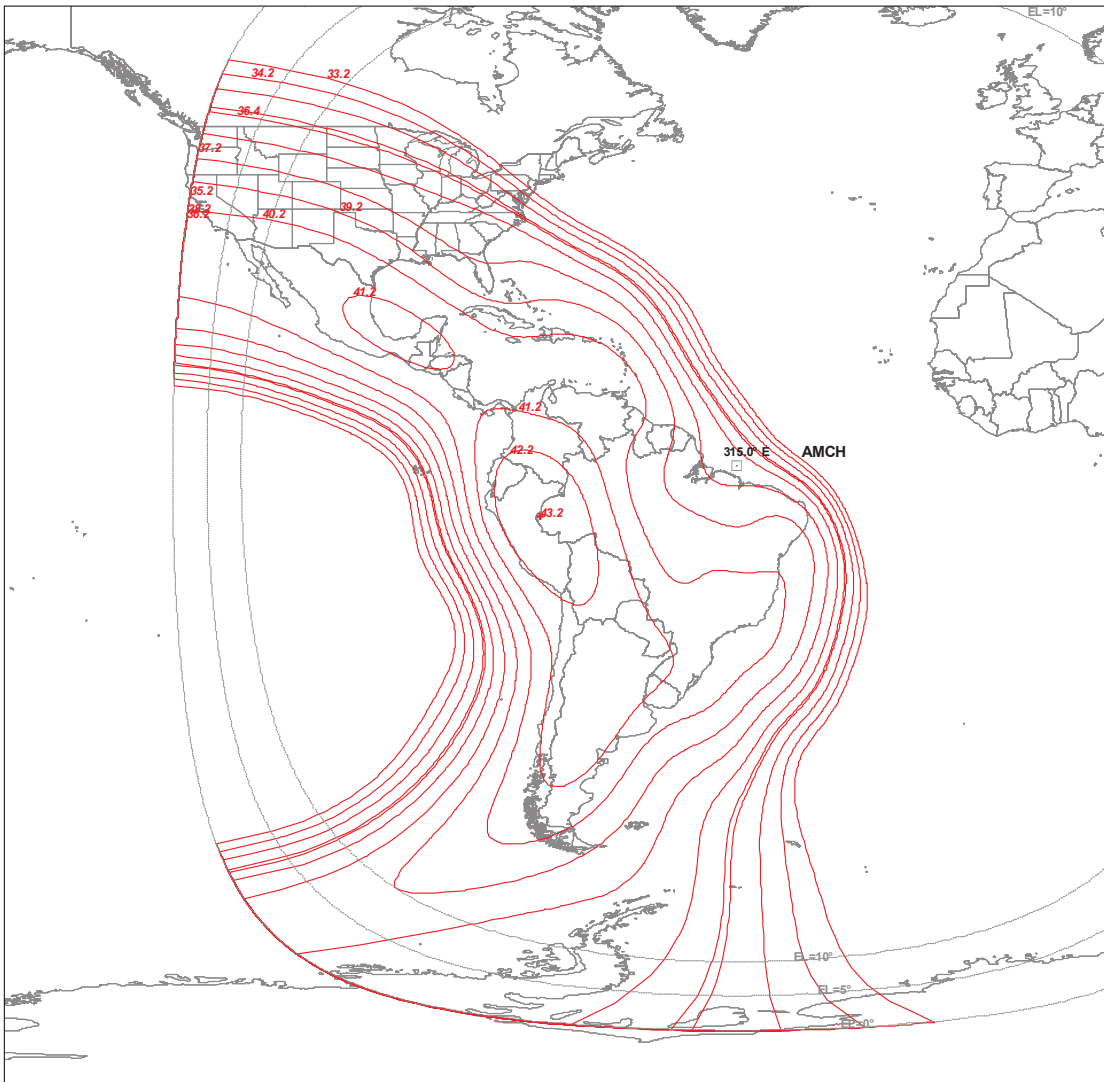
EAFCR Downlink Beam





C-Band Contour Maps

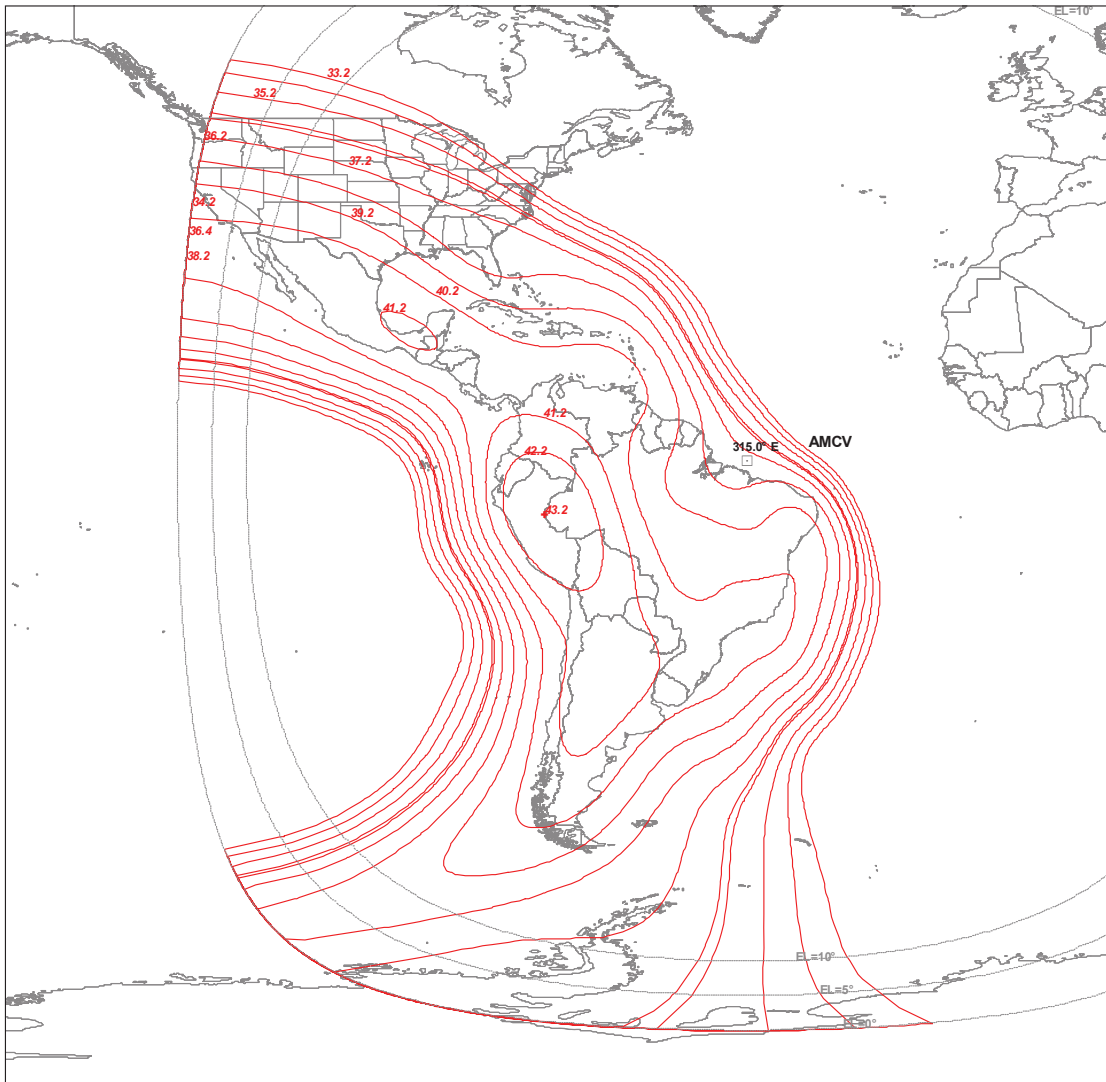
AMCH Downlink Beam





C-Band Contour Maps

AMCV Downlink Beam





Intelsat 14 Ku-Band Payload

Number of Transponders:	20 x 36 MHz 2 x 72 MHz
Transponder Bandwidth:	36 MHz with 4 MHz Guard Bands 72 MHz with 8 MHz Guard Bands
Polarization:	Linear: Horizontal and Vertical
SFD (at Beam Reference Contour):	-95.6 to -74.6 dBW/m ² -96.0 to -75.0 dBW/m ²
Input Attenuators:	21 dB in 1 dB steps
G/T:	> -1.5 dB/K typical for Europe/Africa > -3.5 dB/K typical for Americas
EIRP:	> 45 dBW typical for Europe/Africa > 44 dBW typical for Americas

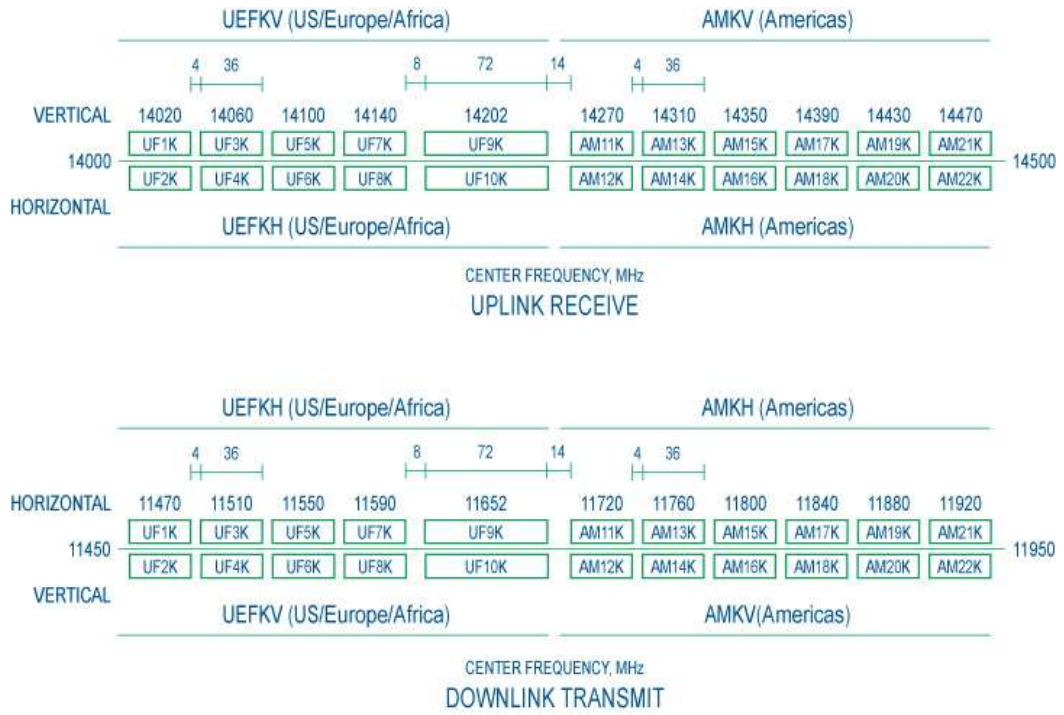


Ku-Band Interconnection Matrix, and Frequency Plan

DOWNLINK			UPLINK				CENTER FREQUENCY (MHz)		
Channel	Pol	Coverage	Ku-Band				Satellite Receive (Uplink)	Satellite Transmit (Downlink)	
			Europe/Africa		Americas				
			V	H	V	H			
UF1K	H	Europe/Africa	UF1K					14020	11470
UF3K	H	Europe/Africa	UF3K					14060	11510
UF5K	H	Europe/Africa	UF5K					14100	11550
UF7K	H	Europe/Africa	UF7K					14140	11590
UF9K	H	Europe/Africa	UF9K					14202	11652
UF2K	V	Europe/Africa		UF2K				14020	11470
UF4K	V	Europe/Africa		UF4K				14060	11510
UF6K	V	Europe/Africa		UF6K				14100	11550
UF8K	V	Europe/Africa		UF8K				14140	11590
UF10K	V	Europe/Africa		UF10K				14202	11652
AM11K	H	Americas			AM11K			14270	11720
AM13K	H	Americas			AM13K			14310	11760
AM15K	H	Americas			AM15K			14350	11800
AM17K	H	Americas			AM17K			14390	11840
AM19K	H	Americas			AM19K			14430	11880
AM21K	H	Americas			AM21K			14470	11920
AM12K	V	Americas				AM12K		14270	11720
AM14K	V	Americas				AM14K		14310	11760
AM16K	V	Americas				AM16K		14350	11800
AM18K	V	Americas				AM18K		14390	11840
AM20K	V	Americas				AM20K		14430	11880
AM22K	V	Americas				AM22K		14470	11920



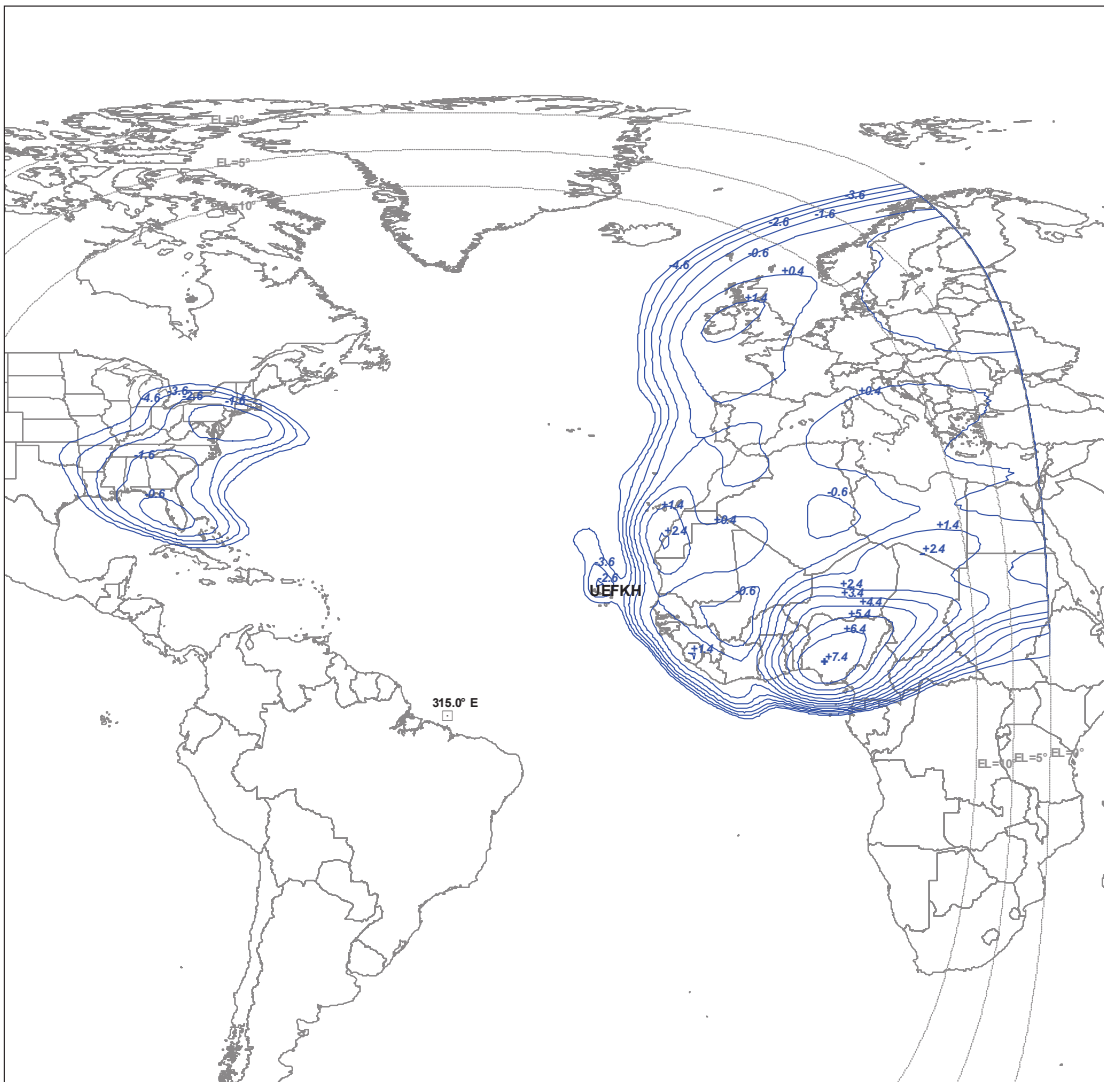
Ku-Band Transponder Layout





Ku-Band Contour Maps

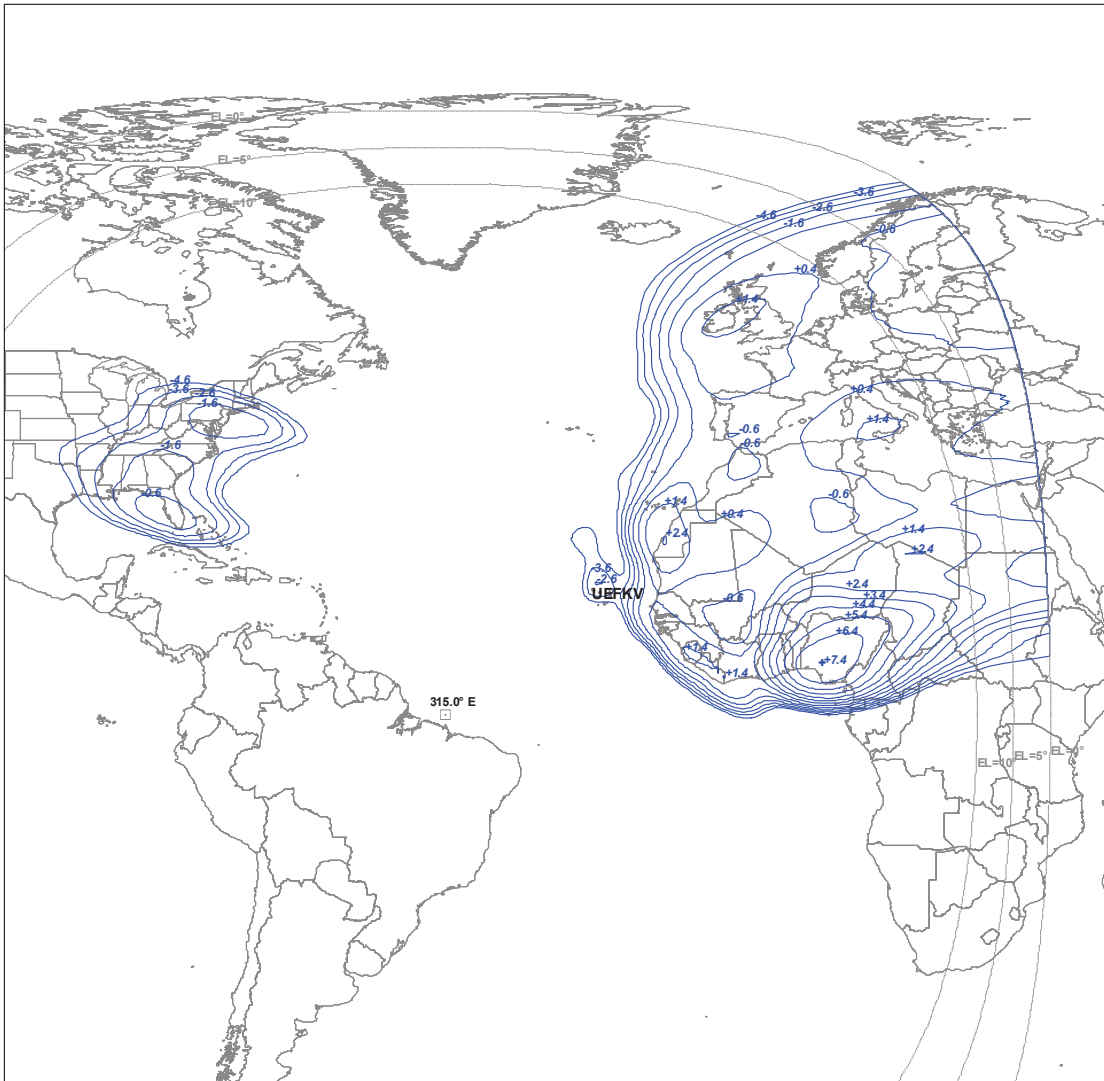
UEFKH Uplink Beam





Ku-Band Contour Maps

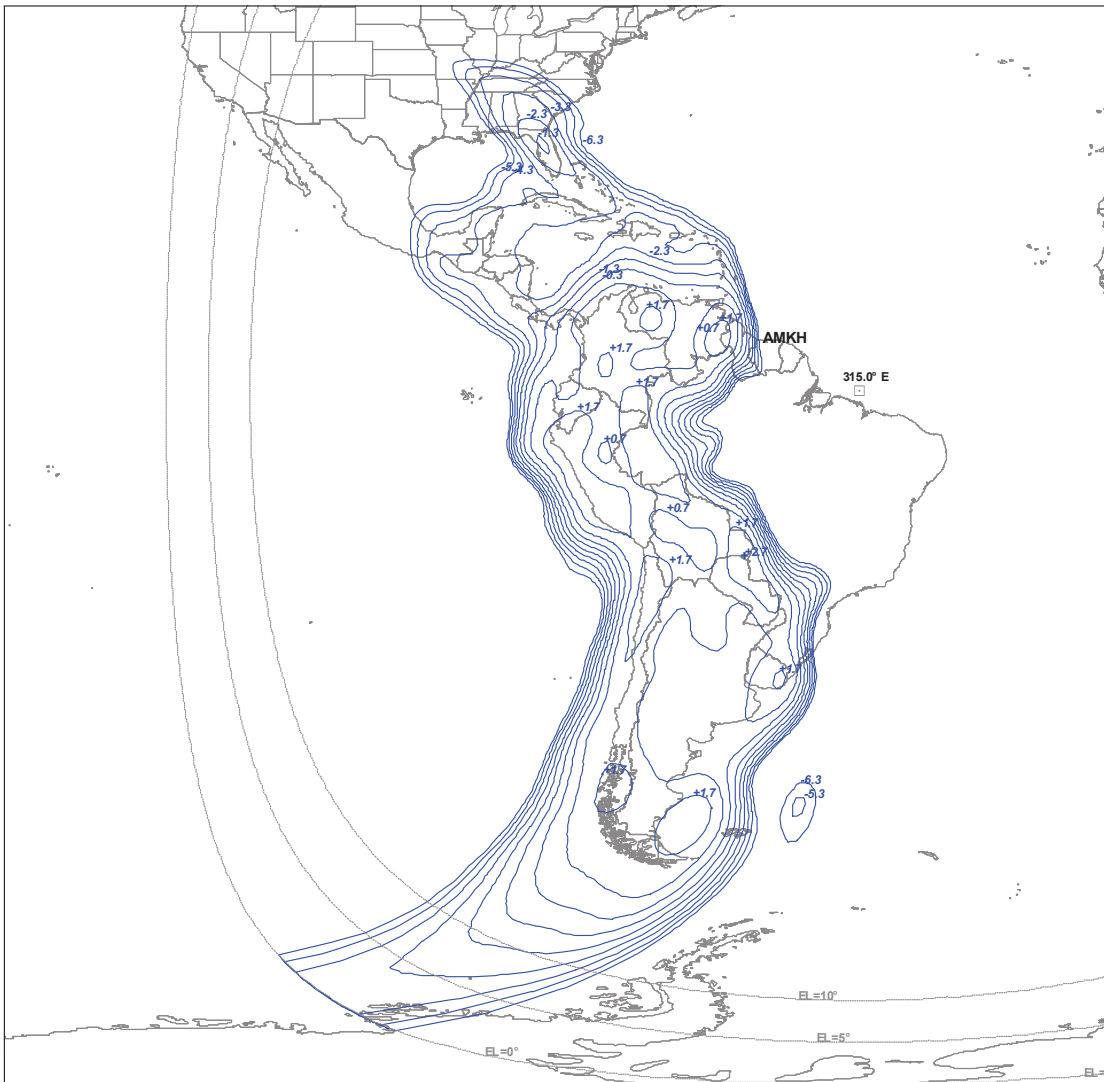
UEFKV Uplink Beam





Ku-Band Contour Maps

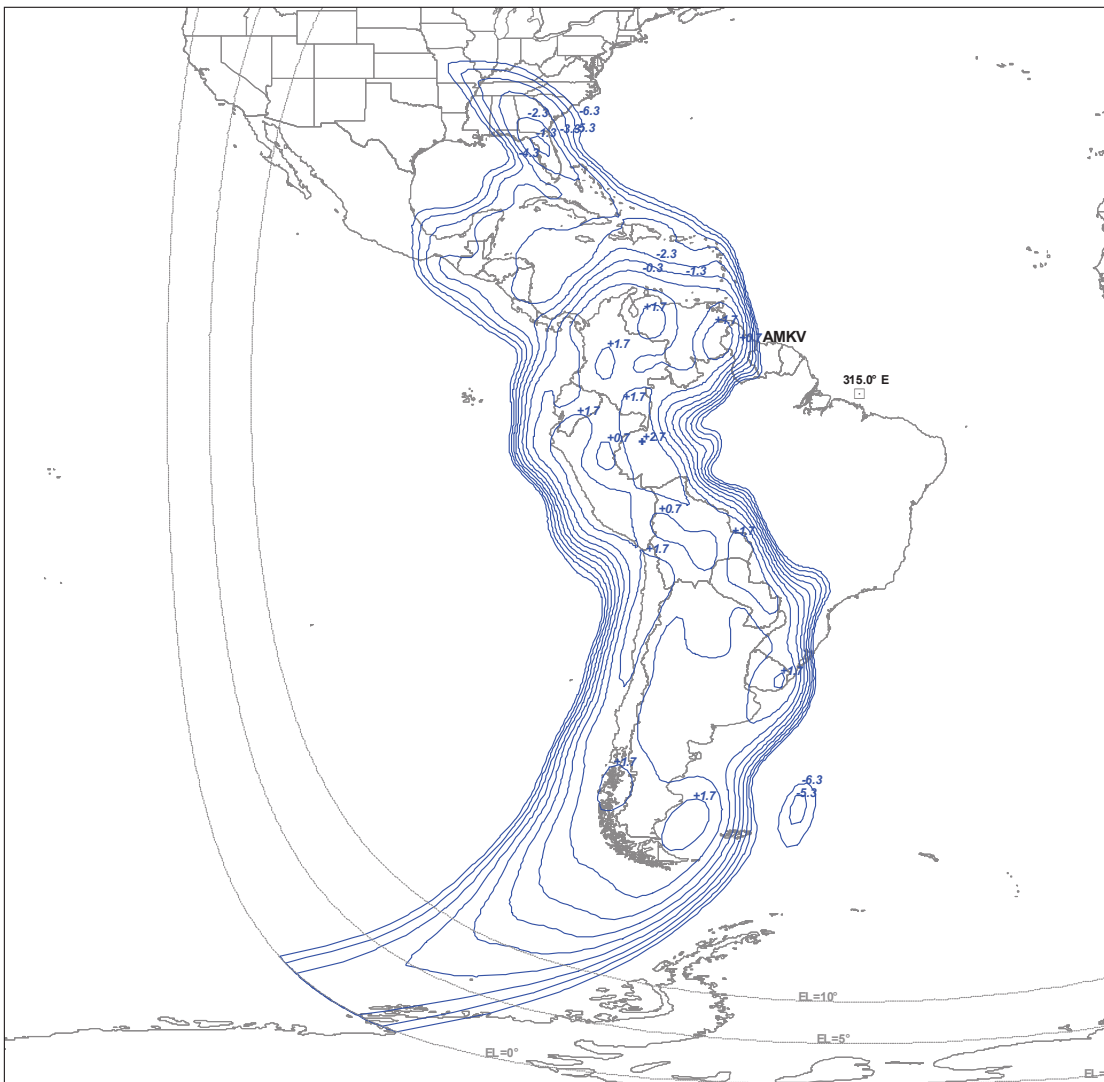
AMKH Uplink Beam





Ku-Band Contour Maps

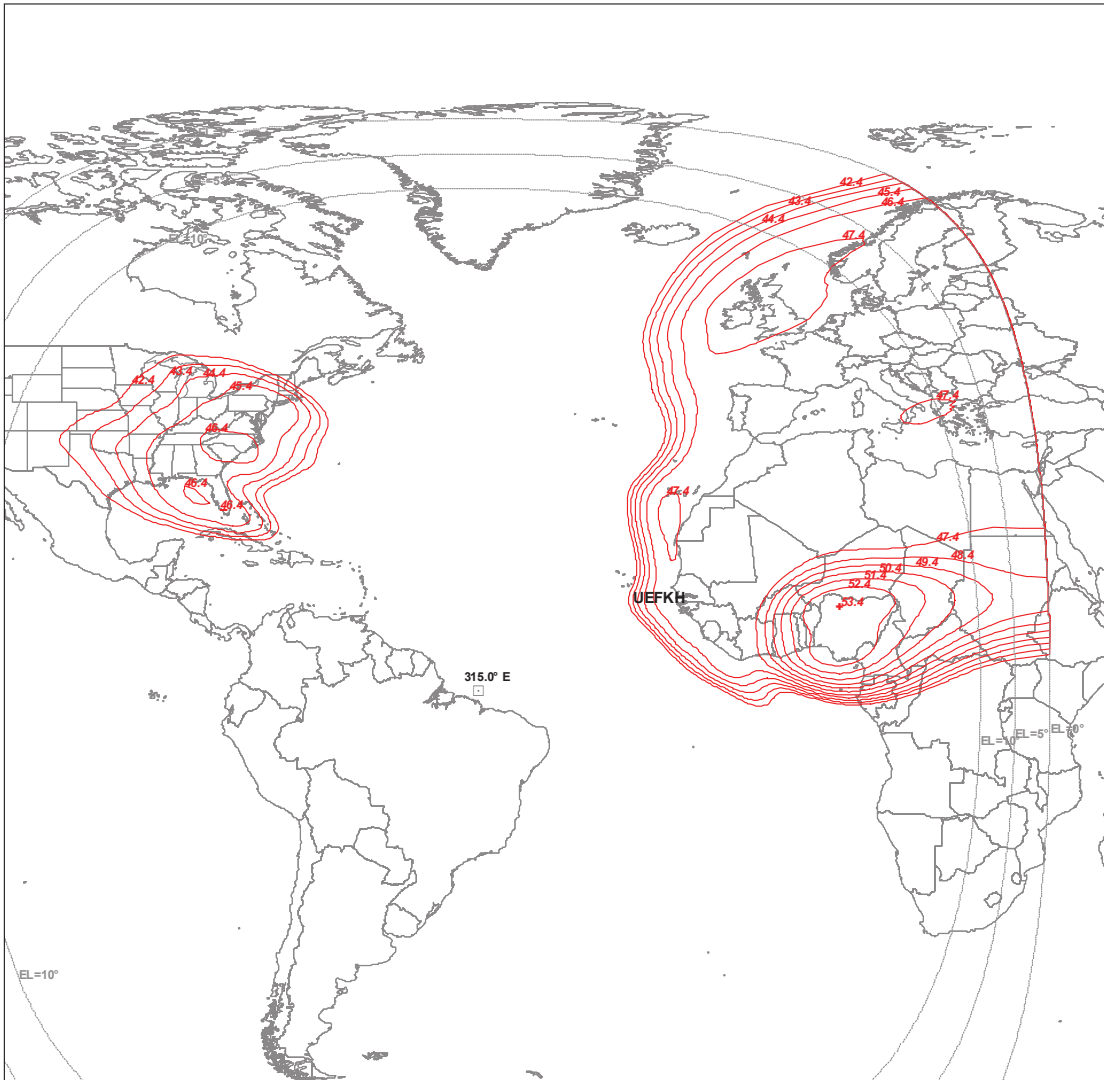
AMKV Uplink Beam





Ku-Band Contour Maps

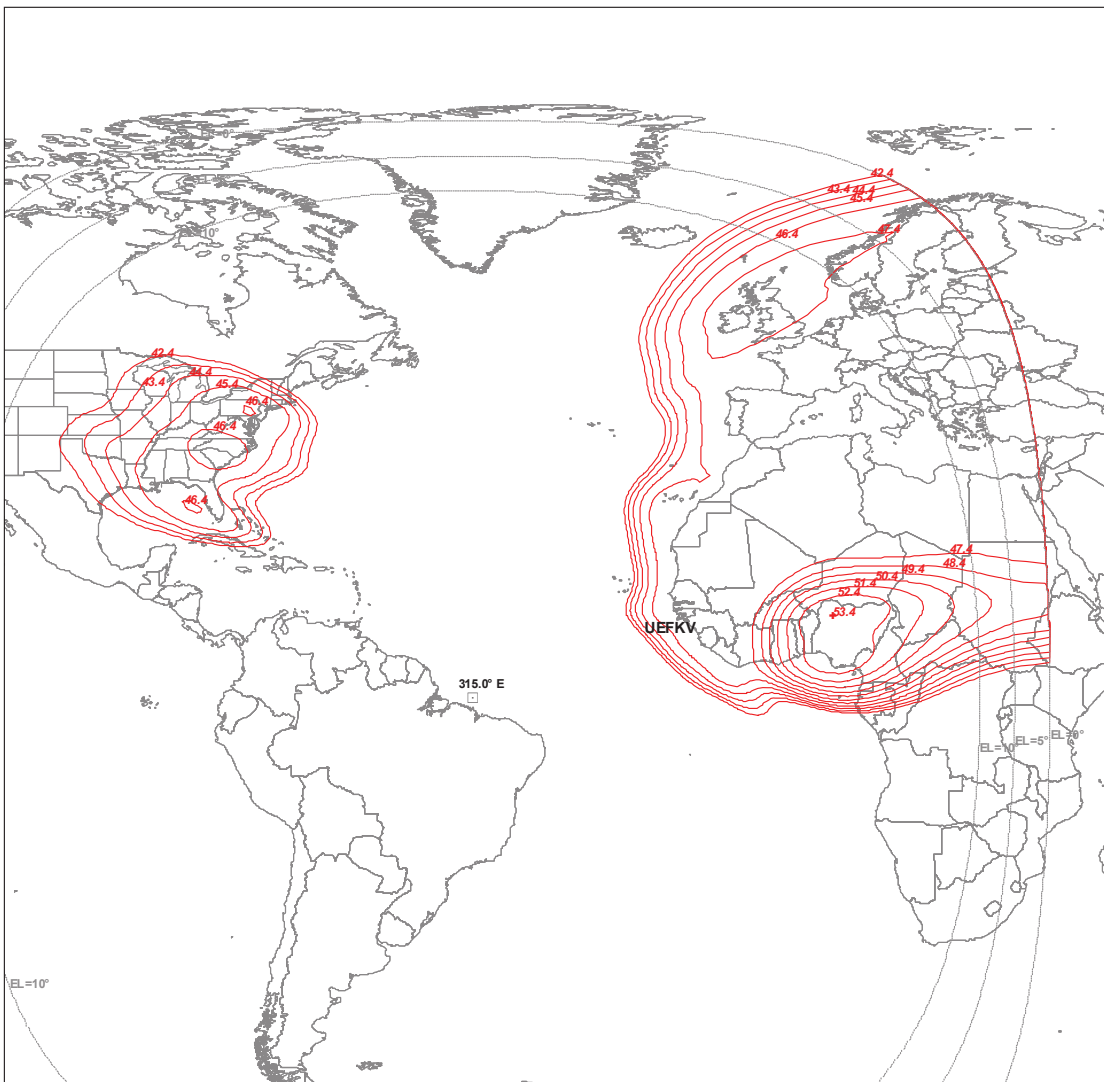
UEFKH Downlink Beam





Ku-Band Contour Maps

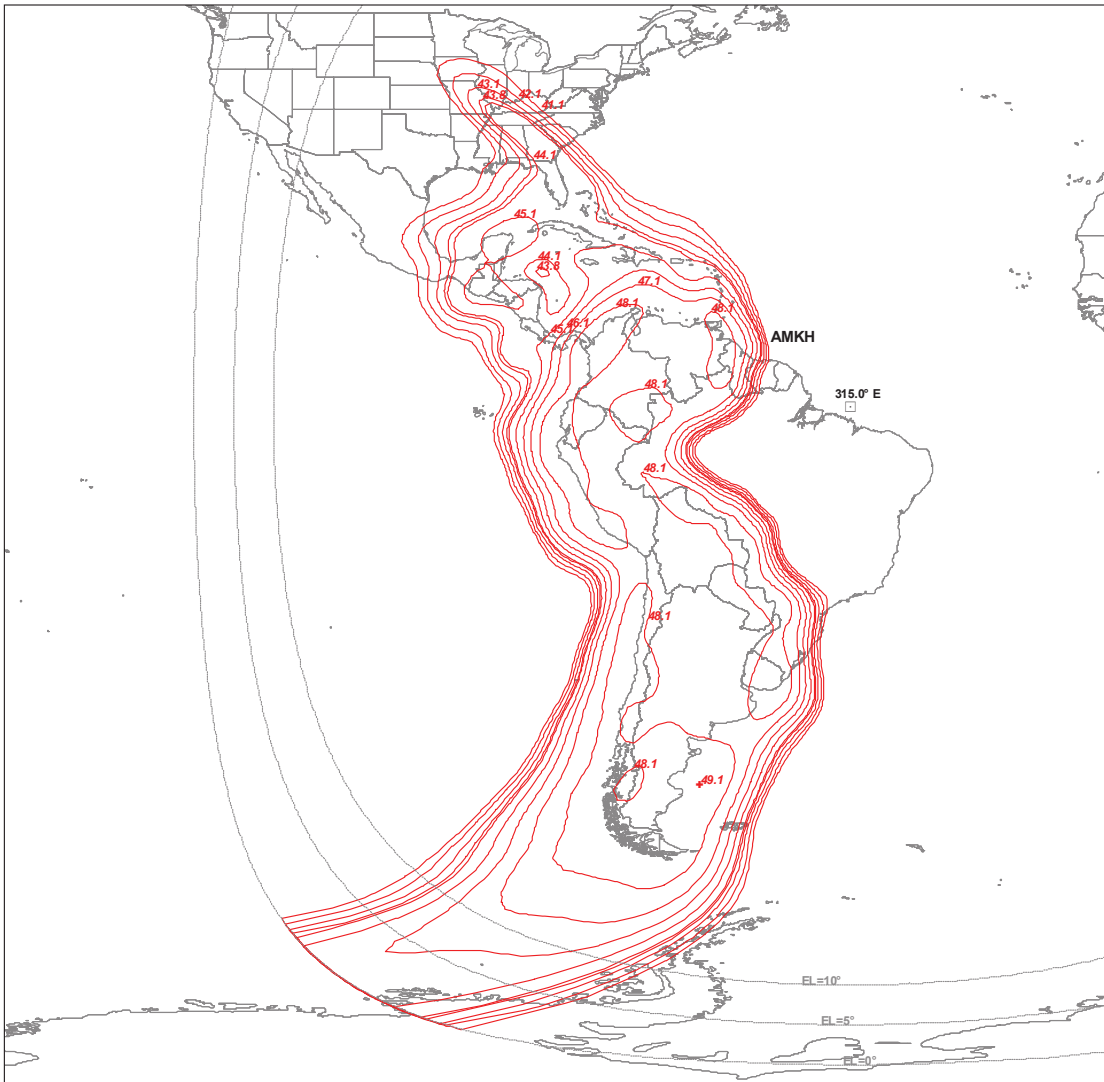
UEFKV Downlink Beam





Ku-Band Contour Maps

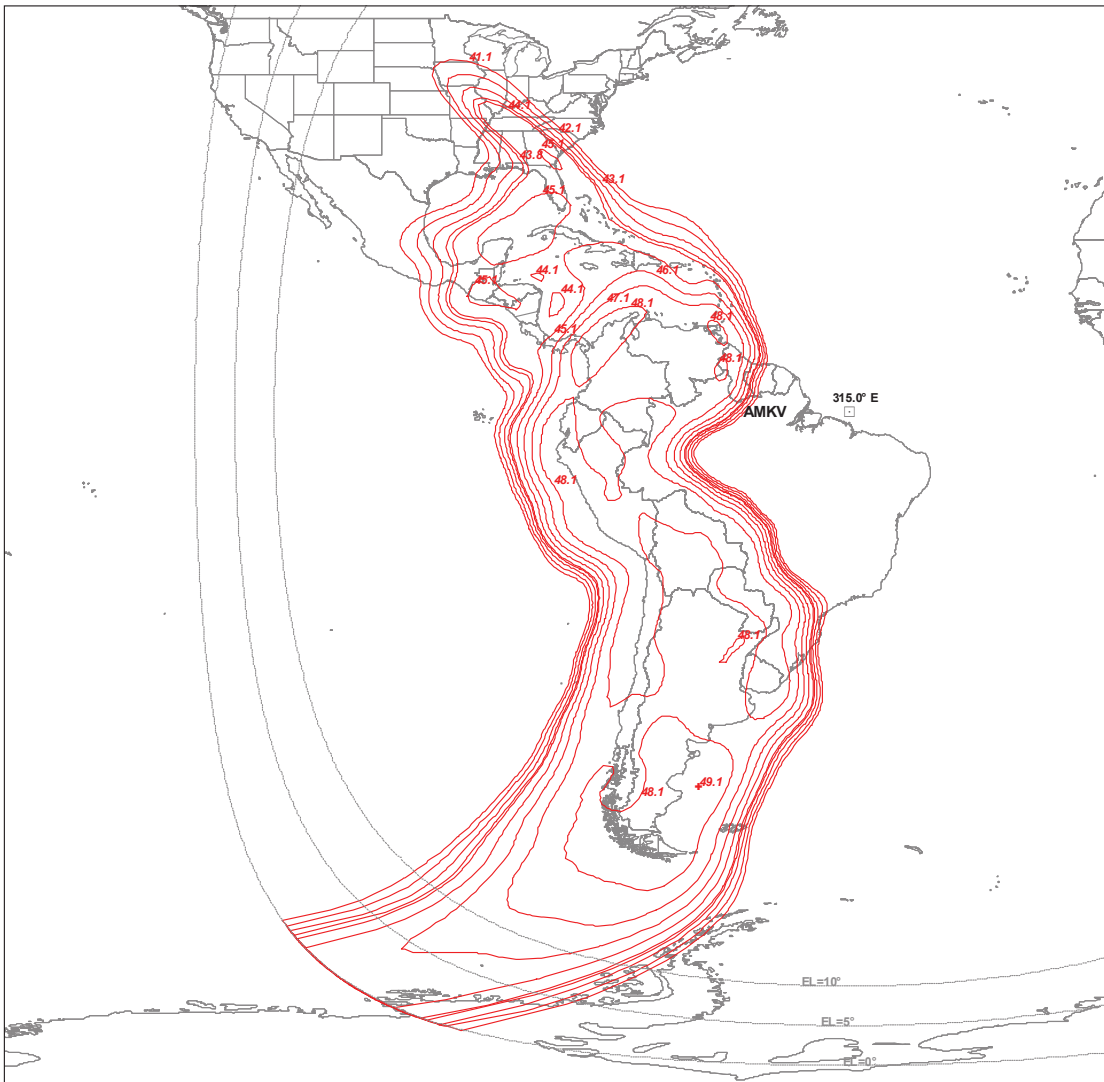
AMKH Downlink Beam





Ku-Band Contour Maps

AMKV Downlink Beam



ANEXO 3
CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DE LA RED

Hoja de cálculos para red VSAT.

1. Cálculos para los ángulos de elevación

1.1 Puerto López

$$\alpha = \text{Tan}^{-1} \left[\frac{r - R_e \times \text{Cos}\theta_2 \times \text{Cos}|\theta_s - \theta_1|}{R_e * \text{Sen}[\text{Cos}^{-1}(\text{Cos}\theta_2 \times \text{Cos}(\theta_s - \theta_1))]} \right] - \text{Cos}^{-1}(\text{Cos}\theta_2 \times \text{Cos}[\theta_s - \theta_1])$$

Donde:

θ_s = Posición del satélite (315° E ó 45° O)

θ_1 = Longitud de la estación terrena

θ_2 = Latitud de la estación terrena

R_e = Radio medio de la Tierra (6.378 Km)

r = Distancia del centro de la Tierra al satélite (42.164 Km)

Latitud= 1,464 ° S

Longitud= 80,73° O

$$\alpha = \text{Tan}^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - 6.378 \times 10^3 * 0.999 * 0.812}{6.378 \times 10^3 * \text{Sen}[\text{Cos}^{-1}(0,999 \times 0,812)]} \right] - \text{Cos}^{-1}(0.999 \times 0.812)$$

$$\alpha = \text{Tan}^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - 5173757,06}{6.378 \times 10^3 * \text{Sen}[35,78]} \right] - 35,78^\circ$$

$$\alpha = \text{Tan}^{-1} \left[\frac{36990242,94}{3729054,12} \right] - 35,78^\circ$$

$$\alpha = 84,24^\circ - 36,59^\circ$$

$$\alpha = 47,65^\circ$$

1.2 Ana Tenorio

Donde:

θ_s = Posición del satélite (315° E ó 45° O)

θ_1 = Longitud de la estación terrena

$\theta_2 =$ Latitud de la estación terrena

Re= Radio medio de la Tierra (6.378 Km)

r= Distancia del centro de la Tierra al satélite (42.164 Km)

Latitud= 1,23 ° S

Longitud= 77,95° O

$$\alpha = \text{Tan}^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - 6.378 \times 10^3 * 0,999 * 0,839}{6.378 \times 10^3 * \text{Sen}[\text{Cos}^{-1}(0,999 * 0,839)]} \right] - \text{Cos}^{-1}(0,999 * 0,839)$$

$$\alpha = \text{Tan}^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - 5345790,86}{6.378 \times 10^3 * \text{Sen}(33,05^\circ)} \right] - 33,05^\circ$$

$$\alpha = \text{Tan}^{-1} \left[\frac{36818209,14}{3478374,36} \right] - 33,05^\circ$$

$$\alpha = 84,60^\circ - 33,05^\circ$$

$$\alpha = 51,55^\circ$$

1.3 San Juan Bosco

Donde:

$\theta_s =$ Posición del satélite (315° E ó 45° O)

$\theta_1 =$ Longitud de la estación terrena

$\theta_2 =$ Latitud de la estación terrena

Re= Radio medio de la Tierra (6.378 Km)

r= Distancia del centro de la Tierra al satélite (42.164 Km)

Latitud= 3,06 ° S

Longitud= 78,36° O

$$\alpha = \text{Tan}^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - 6.378 \times 10^3 * 0,998 * 0,835}{6.378 \times 10^3 * \text{Sen}[\text{Cos}^{-1}(0,998 * 0,835)]} \right] - \text{Cos}^{-1}(0,998 * 0,835)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - 5314978,74}{6.378 \times 10^3 * \sin[33,56^\circ]} \right] - 33,56^\circ$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{36849021,26}{6.378 \times 10^3 * 0,553} \right] - 33,56^\circ$$

$$\alpha = 84,53 - 33,56^\circ$$

$$\alpha = 50,97^\circ$$

1.4 Zumba

Donde:

θ_s = Posición del satélite (315° E ó 45° O)

θ_1 = Longitud de la estación terrena

θ_2 = Latitud de la estación terrena

Re= Radio medio de la Tierra (6.378 Km)

r= Distancia del centro de la Tierra al satélite (42.164 Km)

Latitud= 4,86 ° S

Longitud= 79,14° O

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - 6.378 \times 10^3 * 0,996 * 0,828}{6.378 \times 10^3 * \sin[\cos^{-1}(0,996 * 0,828)]} \right] - \cos^{-1}(0,996 * 0,828)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - 5257755,69}{6.378 \times 10^3 * \sin[34,44^\circ]} \right] - 34,44^\circ$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{36906244,31}{3607032,64} \right] - 34,44^\circ$$

$$\alpha = 84,41^\circ - 34,44^\circ$$

$$\alpha = 49,97^\circ$$

1.5 Macará

Donde:

θ_s = Posición del satélite (315° E ó 45° O)

θ_1 = Longitud de la estación terrena

θ_2 = Latitud de la estación terrena

Re= Radio medio de la Tierra (6.378 Km)

r= Distancia del centro de la Tierra al satélite (42.164 Km)

Latitud= 4,36 ° S

Longitud= 79,95° O

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - 6.378 \times 10^3 * 0,997 * 0,819}{6.378 \times 10^3 * \text{Sen}[\text{Cos}^{-1}(0,997 * 0,819)]} \right] - \text{Cos}^{-1}(0,997 * 0,819)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - 5208465,32}{6.378 \times 10^3 * \text{Sen}[35,26^\circ]} \right] - 35,26^\circ$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{36955534,68}{3681941,03} \right] - 35,26^\circ$$

$$\alpha = 84,31^\circ - 35,26^\circ$$

$$\alpha = 49,1^\circ$$

1.6 Taisha

Donde:

θ_s = Posición del satélite (315° E ó 45° O)

θ_1 = Longitud de la estación terrena

θ_2 = Latitud de la estación terrena

Re= Radio medio de la Tierra (6.378 Km)

r= Distancia del centro de la Tierra al satélite (42.164 Km)

Latitud= 2,39 ° S

Longitud= 77,49° O

$$\alpha = \text{Tan}^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - 6.378 \times 10^3 * 0,999 * 0,843}{6.378 \times 10^3 * \text{Sen}[\text{Cos}^{-1}(0,999 * 0,843)]} \right] - \text{Cos}^{-1}(0,999 * 0,843)$$

$$\alpha = \text{Tan}^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - 5371277,35}{6.378 \times 10^3 * \text{Sen}[32,63^\circ]} \right] - 32,63^\circ$$

$$\alpha = 84,65^\circ - 32,63^\circ$$

$$\alpha = 52,03^\circ$$

1.7 Lumbaqui

Donde:

θ_s = Posición del satélite (315° E ó 45° O)

θ_1 = Longitud de la estación terrena

θ_2 = Latitud de la estación terrena

Re= Radio medio de la Tierra (6.378 Km)

r= Distancia del centro de la Tierra al satélite (42.164 Km)

Latitud= 0,029 ° N

Longitud= 77,32° O

$$\alpha = \text{Tan}^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - 6.378 \times 10^3 * 1 * 0,845}{6.378 \times 10^3 * \text{Sen}[\text{Cos}^{-1}(1 * 0,845)]} \right] - \text{Cos}^{-1}(1 * 0,845)$$

$$\alpha = \text{Tan}^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - 5389410}{6.378 \times 10^3 * \text{Sen}[32,32^\circ]} \right] - 32,32^\circ$$

$$\alpha = 84,702^\circ - 32,32^\circ$$

$$\alpha = 52,38^\circ$$

1.8 Santa Rosa

Donde:

θ_s = Posición del satélite (315° E ó 45° O)

θ_1 = Longitud de la estación terrena

θ_2 = Latitud de la estación terrena

Re= Radio medio de la Tierra (6.378 Km)

r= Distancia del centro de la Tierra al satélite (42.164 Km)

Latitud= 0,637 ° S

Longitud= 90,43° O

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - 6.378 \times 10^3 * 1 * 0,701}{6.378 \times 10^3 * \text{Sen}[\text{Cos}^{-1}(1 * 0,701)]} \right] - \text{Cos}^{-1}(1 * 0,701)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - 4475953,74}{6.378 \times 10^3 * \text{Sen}[45,49^\circ]} \right] - 45,49^\circ$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{37688046,26}{4548331,06} \right] - 45,49^\circ$$

$$\alpha = 83,11^\circ - 45,49^\circ$$

$$\alpha = 37,62^\circ$$

1.9 Río Verde

Donde:

θ_s = Posición del satélite (315° E ó 45° O)

θ_1 = Longitud de la estación terrena

θ_2 = Latitud de la estación terrena

Re= Radio medio de la Tierra (6.378 Km)

r= Distancia del centro de la Tierra al satélite (42.164 Km)

Latitud= 1,068 ° N

Longitud= 79,39° O

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - 6.378 \times 10^3 * 0,999 * 0,825}{6.378 \times 10^3 * \text{Sen}[\text{Cos}^{-1}(0,999 * 0,825)]} \right] - \text{Cos}^{-1}(0,999 * 0,825)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - 5256588,15}{6.378 \times 10^3 * \text{Sen}[34,49^\circ]} \right] - 34,49^\circ$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{36907411,85}{3612085,96} \right] - 34,49^\circ$$

$$\alpha = 84,41^\circ - 34,49^\circ$$

$$\alpha = 49,92^\circ$$

1.10 Punta Galera

Donde:

θ_s = Posición del satélite (315° E ó 45° O)

θ_1 = Longitud de la estación terrena

θ_2 = Latitud de la estación terrena

Re= Radio medio de la Tierra (6.378 Km)

r= Distancia del centro de la Tierra al satélite (42.164 Km)

Latitud= 0,782° N

Longitud= 80,03° O

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - 6.378 \times 10^3 * 1 * 0,819}{6.378 \times 10^3 * \text{Sen}[\text{Cos}^{-1}(1 * 0,819)]} \right] - \text{Cos}^{-1}(1 * 0,819)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - 5223582}{6.378 \times 10^3 * \sin[35,01^\circ]} \right] - 35,01^\circ$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{36940418}{3659182,31} \right] - 35,01^\circ$$

$$\alpha = 84,34^\circ - 35,01^\circ$$

$$\alpha = 49,33^\circ$$

1.11 Lita

Donde:

θ_s = Posición del satélite (315° E ó 45° O)

θ_1 = Longitud de la estación terrena

θ_2 = Latitud de la estación terrena

Re= Radio medio de la Tierra (6.378 Km)

r= Distancia del centro de la Tierra al satélite (42.164 Km)

Latitud= 0,880° N

Longitud= 78,47° O

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - 6.378 \times 10^3 * 1 * 0,834}{6.378 \times 10^3 * \sin[\cos^{-1}(1 * 0,834)]} \right] - \cos^{-1}(1 * 0,834)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - 5319252}{6.378 \times 10^3 * \sin[33,49^\circ]} \right] - 33,49^\circ$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{36844748}{6.378 \times 10^3 * \sin[33,49^\circ]} \right] - 33,49^\circ$$

$$\alpha = 84,54^\circ - 33,49^\circ$$

$$\alpha = 51,03^\circ$$

1.12 Cabo Pasado

Donde:

θ_s = Posición del satélite (315° E ó 45° O)

θ_1 = Longitud de la estación terrena

θ_2 = Latitud de la estación terrena

Re= Radio medio de la Tierra (6.378 Km)

r= Distancia del centro de la Tierra al satélite (42.164 Km)

Latitud= 0,386° S

Longitud= 80,42° O

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - 6.378 \times 10^3 * 1 * 0,815}{6.378 \times 10^3 * \text{Sen}[\text{Cos}^{-1}(1 * 0,815)]} \right] - \text{Cos}^{-1}(1 * 0,815)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - 5198070}{6.378 \times 10^3 * \text{Sen}[35,41^\circ]} \right] - 35,41^\circ$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{36965930}{3695562,64} \right] - 35,41^\circ$$

$$\alpha = 84,29^\circ - 35,41^\circ$$

$$\alpha = 48,88^\circ$$

1.13 Isla Puná

Donde:

θ_s = Posición del satélite (315° E ó 45° O)

θ_1 = Longitud de la estación terrena

θ_2 = Latitud de la estación terrena

Re= Radio medio de la Tierra (6.378 Km)

r= Distancia del centro de la Tierra al satélite (42.164 Km)

Latitud= 2,80° S

Longitud= 80,23° O

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - 6.378 \times 10^3 * 0,998 * 0,817}{6.378 \times 10^3 * \text{Sen}[\text{Cos}^{-1}(0,998 * 0,817)]} \right] - \text{Cos}^{-1}(0,998 * 0,817)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - 5200404,35}{6.378 \times 10^3 * \text{Sen}[35,38^\circ]} \right] - 35,38^\circ$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{36963595,65}{3690117,03} \right] - 35,38^\circ$$

$$\alpha = 84,30^\circ - 35,38^\circ$$

$$\alpha = 48,91^\circ$$

1.14 Macas

Donde:

θ_s = Posición del satélite (315° E ó 45° O)

θ_1 = Longitud de la estación terrena

θ_2 = Latitud de la estación terrena

Re= Radio medio de la Tierra (6.378 Km)

r= Distancia del centro de la Tierra al satélite (42.164 Km)

Latitud= 2,25° S

Longitud= 78,20° O

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - 6.378 \times 10^3 * 0,999 * 0,837}{6.378 \times 10^3 * \text{Sen}[\text{Cos}^{-1}(0,999 * 0,837)]} \right] - \text{Cos}^{-1}(0,999 * 0,837)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - 5333047,61}{6.378 \times 10^3 * \text{Sen}[33,26^\circ]} \right] - 33,26^\circ$$

$$\alpha = 84,57^\circ - 33,26^\circ$$

$$\alpha = 51,31^\circ$$

1.15 Sangay

Donde:

θ_s = Posición del satélite (315° E ó 45° O)

θ_1 = Longitud de la estación terrena

θ_2 = Latitud de la estación terrena

Re= Radio medio de la Tierra (6.378 Km)

r= Distancia del centro de la Tierra al satélite (42.164 Km)

Latitud= 1,99° S

Longitud= 78,37° O

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - 6.378 \times 10^3 * 0,999 * 0,835}{6.378 \times 10^3 * \text{Sen}[\text{Cos}^{-1}(0,999 * 0,835)]} \right] - \text{Cos}^{-1}(0,999 * 0,835)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - 5320304,37}{6.378 \times 10^3 * \text{Sen}[33,47^\circ]} \right] - 33,47^\circ$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{36843695,63}{3517468,84} \right] - 33,47^\circ$$

$$\alpha = 84,54^\circ - 33,47^\circ$$

$$\alpha = 51,07^\circ$$

1.16 OVT

Donde:

$\theta_s =$ Posición del satélite (315° E ó 45° O)

$\theta_1 =$ Longitud de la estación terrena

$\theta_2 =$ Latitud de la estación terrena

Re= Radio medio de la Tierra (6.378 Km)

r= Distancia del centro de la Tierra al satélite (42.164 Km)

Latitud= 1,35° S

Longitud= 78,49° O

$$\alpha = \text{Tan}^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - 6.378 \times 10^3 * 0,999 * 0,834}{6.378 \times 10^3 * \text{Sen}[\text{Cos}^{-1}(0,999 * 0,834)]} \right] - \text{Cos}^{-1}(0,999 * 0,834)$$

$$\alpha = \text{Tan}^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - 5313932,75}{6.378 \times 10^3 * \text{Sen}[33,57^\circ]} \right] - 33,57^\circ$$

$$\alpha = \text{Tan}^{-1} \left[\frac{36850067,25}{3526749,26} \right] - 33,57^\circ$$

$$\alpha = 84,53^\circ - 33,57^\circ$$

$$\alpha = 50,96^\circ$$

1.17 Instituto Geofísico

Donde:

$\theta_s =$ Posición del satélite (315° E ó 45° O)

$\theta_1 =$ Longitud de la estación terrena

$\theta_2 =$ Latitud de la estación terrena

Re= Radio medio de la Tierra (6.378 Km)

r= Distancia del centro de la Tierra al satélite (42.164 Km)

Latitud= 0,22° S

Longitud= 78,49° O

$$\alpha = \text{Tan}^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - 6.378 \times 10^3 * 1 * 0,834}{6.378 \times 10^3 * \text{Sen}[\text{Cos}^{-1}(1 * 0,834)]} \right] - \text{Cos}^{-1}(1 * 0,834)$$

$$\alpha = \text{Tan}^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - 5319252}{6.378 \times 10^3 * \text{Sen}[33,48^\circ]} \right] - 33,48^\circ$$

$$\alpha = \text{Tan}^{-1} \left[\frac{36844748}{3518397,36} \right] - 33,48^\circ$$

$$\alpha = 84,54^\circ - 33,48^\circ$$

$$\alpha = 51,06^\circ$$

1.18 HUB- Proveedor

Donde:

θ_s = Posición del satélite (315° E ó 45° O)

θ_1 = Longitud de la estación terrena

θ_2 = Latitud de la estación terrena

Re= Radio medio de la Tierra (6.378 Km)

r= Distancia del centro de la Tierra al satélite (42.164 Km)

Latitud= 0,173° S

Longitud= 78,50° O

$$\alpha = \text{Tan}^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - 6.378 \times 10^3 * 1 * 0,862}{6.378 \times 10^3 * \text{Sen}[\text{Cos}^{-1}(1 * 0,862)]} \right] - \text{Cos}^{-1}(1 * 0,862)$$

$$\alpha = \text{Tan}^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - 5497836}{6.378 \times 10^3 * \text{Sen}[30,46^\circ]} \right] - 30,46^\circ$$

$$\alpha = \text{Tan}^{-1} \left[\frac{36666164}{3233242,33} \right] - 30,46^\circ$$

$$\alpha = 84,96^\circ - 30,46^\circ$$

$$\alpha = 54,5^\circ$$

2. Cálculos para azimuts

2.1 Puerto López

$$\beta = 180^\circ + \text{Tan}^{-1} \left[\frac{\text{Tan} |(\theta_s - \theta_1)|}{[(\text{Cos} \theta_2)]} \right]$$

Donde:

θ_s = Posición del satélite (315° E ó 45° O)

θ_1 = Longitud de la estación terrena

θ_2 = Latitud de la estación terrena

Latitud= 1,464 ° S

Longitud= 80,73° O

$$\beta = 180^\circ + \text{Tan}^{-1} \left[\frac{\text{Tan} |(45^\circ - 80,73)|}{[(\text{Cos}(1,464))]} \right]$$

$$\beta = 180^\circ + \text{Tan}^{-1} \left[\frac{0,719}{0,999} \right]$$

$$\beta = 180^\circ + 35^\circ$$

$$\beta = 215,72^\circ$$

2.2 Ana Tenorio

Donde:

θ_s = Posición del satélite (315° E ó 45° O)

$\theta_1 =$ Longitud de la estación terrena

$\theta_2 =$ Latitud de la estación terrena

Latitud= 1,23 ° S

Longitud= 77,95° O

$$\beta = 180^\circ + \tan^{-1} \left[\frac{|\tan(45^\circ - 77,95)|}{|\cos(1,23^\circ)|} \right]$$

$$\beta = 180^\circ + \tan^{-1} \left[\frac{0,648}{0,999} \right]$$

$$\beta = 180^\circ + 32,97^\circ$$

$$\beta = 212,97^\circ$$

2.3 San Juan Bosco

Donde:

$\theta_s =$ Posición del satélite (315° E ó 45° O)

$\theta_1 =$ Longitud de la estación terrena

$\theta_2 =$ Latitud de la estación terrena

Latitud= 3,06 ° S

Longitud= 78,36° O

$$\beta = 180^\circ + \tan^{-1} \left[\frac{|\tan(45^\circ - 78,36)|}{|\cos(3,06^\circ)|} \right]$$

$$\beta = 180^\circ + \tan^{-1} \left[\frac{0,658}{0,998} \right]$$

$$\beta = 180^\circ + 33,39^\circ$$

$$\beta = 213,4^\circ$$

2.4 Zumba

Donde:

$\theta_s =$ Posición del satélite (315° E ó 45° O)

$\theta_1 =$ Longitud de la estación terrena

$\theta_2 =$ Latitud de la estación terrena

Latitud= 4,86 ° S

Longitud= 79,14° O

$$\beta = 180^\circ + \tan^{-1} \left[\frac{|\tan|(45^\circ - 79,14)|}{|(\cos(4,86^\circ))|} \right]$$

$$\beta = 180^\circ + \tan^{-1} \left[\frac{0,678}{0,996} \right]$$

$$\beta = 180^\circ + 34,24^\circ$$

$$\beta = 214,24^\circ$$

2.5 Macará

Donde:

$\theta_s =$ Posición del satélite (315° E ó 45° O)

$\theta_1 =$ Longitud de la estación terrena

$\theta_2 =$ Latitud de la estación terrena

Latitud= 4,36 ° S

Longitud= 79,95° O

$$\beta = 180^\circ + \tan^{-1} \left[\frac{|\tan|(45^\circ - 79,95)|}{|(\cos(4,36^\circ))|} \right]$$

$$\beta = 180^\circ + \text{Tan}^{-1} \left[\frac{0,699}{0,997} \right]$$

$$\beta = 180^\circ + 35,03^\circ$$

$$\beta = 215,03^\circ$$

2.6 Taisha

Donde:

θ_s = Posición del satélite (315° E ó 45° O)

θ_1 = Longitud de la estación terrena

θ_2 = Latitud de la estación terrena

Latitud= 2,39 ° S

Longitud= 77,49° O

$$\beta = 180^\circ + \text{Tan}^{-1} \left[\frac{\text{Tan}|(45^\circ - 77,49)|}{[(\text{Cos}(2,39^\circ))]} \right]$$

$$\beta = 180^\circ + \text{Tan}^{-1} \left[\frac{0,637}{0,999} \right]$$

$$\beta = 180^\circ + 32,52^\circ$$

$$\beta = 212,52^\circ$$

2.7 Lumbaqui

Donde:

θ_s = Posición del satélite (315° E ó 45° O)

θ_1 = Longitud de la estación terrena

θ_2 = Latitud de la estación terrena

Latitud= 0,029 ° N

Longitud= 77,32° O

$$\beta = 180^\circ + \text{Tan}^{-1} \left[\frac{\text{Tan}|(45^\circ - 77,32)|}{[(\text{Cos}(0,029^\circ))]} \right]$$

$$\beta = 180^\circ + \text{Tan}^{-1} \left[\frac{0,633}{1} \right]$$

$$\beta = 180^\circ + 32,33^\circ$$

$$\beta = 212,33^\circ$$

2.8 Santa Rosa

Donde:

θ_s = Posición del satélite (315° E ó 45° O)

θ_1 = Longitud de la estación terrena

θ_2 = Latitud de la estación terrena

Latitud= 0,637 ° S

Longitud= 90,43° O

$$\beta = 180^\circ + \text{Tan}^{-1} \left[\frac{\text{Tan}|(45^\circ - 90,43^\circ)|}{[(\text{Cos}(0,637^\circ))]} \right]$$

$$\beta = 180^\circ + \text{Tan}^{-1} \left[\frac{1,015}{1} \right]$$

$$\beta = 180^\circ + 45,42^\circ$$

$$\beta = 225,43^\circ$$

2.9 Rio Verde

Donde:

$\theta_s =$ Posición del satélite (315° E ó 45° O)

$\theta_1 =$ Longitud de la estación terrena

$\theta_2 =$ Latitud de la estación terrena

Latitud= 1,068 ° N

Longitud= 79,39° O

$$\beta = 180^\circ + \tan^{-1} \left[\frac{|\tan(45^\circ - 79,39^\circ)|}{\cos(1,068^\circ)} \right]$$

$$\beta = 180^\circ + \tan^{-1} \left[\frac{0,684}{0,999} \right]$$

$$\beta = 180^\circ + 34,38^\circ$$

$$\beta = 214^\circ$$

2.10 Punta Galera

Donde:

$\theta_s =$ Posición del satélite (315° E ó 45° O)

$\theta_1 =$ Longitud de la estación terrena

$\theta_2 =$ Latitud de la estación terrena

Latitud= 0,782° N

Longitud= 80,03° O

$$\beta = 180^\circ + \tan^{-1} \left[\frac{|\tan(45^\circ - 80,03^\circ)|}{\cos(0,782^\circ)} \right]$$

$$\beta = 180^\circ + \tan^{-1} \left[\frac{0,70}{1} \right]$$

$$\beta = 180^\circ + 35^\circ$$

$$\beta = 215^\circ$$

2.11 Lita

Donde:

$\theta_s =$ Posición del satélite (315° E ó 45° O)

$\theta_1 =$ Longitud de la estación terrena

$\theta_2 =$ Latitud de la estación terrena

Latitud= 0,880° N

Longitud= 78,47° O

$$\beta = 180^\circ + \text{Tan}^{-1} \left[\frac{|\text{Tan}(45^\circ - 78,47^\circ)|}{|(\text{Cos}(0,880^\circ))|} \right]$$

$$\beta = 180^\circ + \text{Tan}^{-1} \left[\frac{0,661}{0,999} \right]$$

$$\beta = 180^\circ + 33,49^\circ$$

$$\beta = 213,49^\circ$$

2.12 Cabo Pasado

Donde:

$\theta_s =$ Posición del satélite (315° E ó 45° O)

$\theta_1 =$ Longitud de la estación terrena

$\theta_2 =$ Latitud de la estación terrena

Latitud= 0,386° S

Longitud= 80,42° O

$$\beta = 180^\circ + \text{Tan}^{-1} \left[\frac{|\text{Tan}(45^\circ - 80,42^\circ)|}{|(\text{Cos}(0,386^\circ))|} \right]$$

$$\beta = 180^\circ + \text{Tan}^{-1} \left[\frac{0,711}{1} \right]$$

$$\beta = 180^\circ + 35,41^\circ$$

$$\beta = 215,41^\circ$$

2.13 Isla Puná

Donde:

θ_s = Posición del satélite (315° E ó 45° O)

θ_1 = Longitud de la estación terrena

θ_2 = Latitud de la estación terrena

Latitud= 2,80° S

Longitud= 80,23° O

$$\beta = 180^\circ + \text{Tan}^{-1} \left[\frac{\text{Tan} |(45^\circ - 80,23^\circ)|}{[(\text{Cos}(2,80^\circ))]} \right]$$

$$\beta = 180^\circ + \text{Tan}^{-1} \left[\frac{0,706}{0,998} \right]$$

$$\beta = 180^\circ + 35,28^\circ$$

$$\beta = 180^\circ + 35,28^\circ$$

$$\beta = 215,28^\circ$$

2.14 Macas

Donde:

θ_s = Posición del satélite (315° E ó 45° O)

θ_1 = Longitud de la estación terrena

θ_2 = Latitud de la estación terrena

Latitud= 2,25° S

Longitud= 78,20° O

$$\beta = 180^\circ + \text{Tan}^{-1} \left[\frac{|\text{Tan}(45^\circ - 78,20^\circ)|}{|(\text{Cos}(2,25^\circ))|} \right]$$

$$\beta = 180^\circ + \text{Tan}^{-1} \left[\frac{0,654}{0,999} \right]$$

$$\beta = 180^\circ + 33,2^\circ$$

$$\beta = 213,2^\circ$$

2.15 Sangay

Donde:

θ_s = Posición del satélite (315° E ó 45° O)

θ_1 = Longitud de la estación terrena

θ_2 = Latitud de la estación terrena

Latitud= 1,99° S

Longitud= 78,37° O

$$\beta = 180^\circ + \text{Tan}^{-1} \left[\frac{|\text{Tan}(45^\circ - 78,37^\circ)|}{|(\text{Cos}(1,99^\circ))|} \right]$$

$$\beta = 180^\circ + \text{Tan}^{-1} \left[\frac{0,658}{0,99} \right]$$

$$\beta = 180^\circ + 33,61^\circ$$

$$\beta = 213,61^\circ$$

2.16 OVT

Donde:

$\theta_s =$ Posición del satélite (315° E ó 45° O)

$\theta_1 =$ Longitud de la estación terrena

$\theta_2 =$ Latitud de la estación terrena

Latitud= 1,35° S

Longitud= 78,49° O

$$\beta = 180^\circ + \tan^{-1} \left[\frac{|\tan(45^\circ - 78,49^\circ)|}{|\cos(1,35^\circ)|} \right]$$

$$\beta = 180^\circ + \tan^{-1} \left[\frac{0,661}{0,999} \right]$$

$$\beta = 180^\circ + 33,47^\circ$$

$$\beta = 213,47^\circ$$

2.17 Instituto Geofísico

Donde:

$\theta_s =$ Posición del satélite (315° E ó 45° O)

$\theta_1 =$ Longitud de la estación terrena

$\theta_2 =$ Latitud de la estación terrena

Latitud= 0,22° S

Longitud= 78,49° O

$$\beta = 180^\circ + \tan^{-1} \left[\frac{|\tan(45^\circ - 78,49^\circ)|}{|\cos(0,22^\circ)|} \right]$$

$$\beta = 180^\circ + \tan^{-1} \left[\frac{0,661}{1} \right]$$

$$\beta = 180^\circ + 33,46^\circ$$

$$\beta = 213,46^\circ$$

2.18 Proveedor HUB

Donde:

θ_s = Posición del satélite (315° E ó 45° O)

θ_1 = Longitud de la estación terrena

θ_2 = Latitud de la estación terrena

Latitud= 0,173° S

Longitud= 78,5° O

$$\beta = 180^\circ + \tan^{-1} \left[\frac{|\tan|(45^\circ - 78,5^\circ)|}{[(\cos(0,173^\circ))]} \right]$$

$$\beta = 180^\circ + \tan^{-1} \left[\frac{0,662}{1} \right]$$

$$\beta = 180^\circ + 33,5^\circ$$

$$\beta = 213,5^\circ$$

3. Cálculo de la distancia entre las estaciones terrenas y el satélite

3.1 Puerto López

$$d = \sqrt{(Re + H)^2 + Re^2 - 2Re(Re + H) * \sin\left[\alpha + \sin^{-1}\left(\frac{Re}{Re + H}\right) * \cos(\alpha)\right]}$$

Donde:

Re= Radio medio de la Tierra (6.378 Km)

H= Distancia de la órbita geoestacionaria desde la Tierra (35789 Km)

α = Ángulo de elevación de la estación terrena (47,65°)

d

$$= \sqrt{1778055889 + 40678884 - 537882252 * \text{Sen}[47,65^\circ + \text{Sen}^{-1}\left(\frac{6.378}{42167}\right) * 0,674]}$$

$$d = \sqrt{1818734773 - 537882252 * \text{Sen}[47,65^\circ + 8,69^\circ * 0,674]}$$

$$d = \sqrt{1818734773 - 537882252 * \text{Sen}[53,51^\circ]}$$

$$d = \sqrt{1386315014,15}$$

$$d = 37.233,3 \text{ Km}$$

3.2 Ana Tenorio

Donde:

Re= Radio medio de la Tierra (6.378 Km)

H= Distancia de la órbita geostacionaria desde la Tierra (35789 Km)

α = Ángulo de elevación de la estación terrena (51,55°)

$$d = \sqrt{(\text{Re} + \text{H})^2 + \text{Re}^2 - 2\text{Re}(\text{Re} + \text{H}) * \text{Sen}[\alpha + \text{Sen}^{-1}\left(\frac{\text{Re}}{\text{Re} + \text{H}}\right) * \text{Cos}(\alpha)]}$$

d

$$= \sqrt{1778055889 + 40678884 - 537882252 * \text{Sen}[51,55^\circ + \text{Sen}^{-1}\left(\frac{6.378}{42167}\right) * 0,622]}$$

$$d = \sqrt{1818734773 - 537882252 * \text{Sen}[51,55^\circ + 8,69^\circ * 0,622]}$$

$$d = \sqrt{1367858060,59}$$

$$d = 36.984,6 \text{ Km}$$

3.3 San Juan Bosco

Donde:

Re= Radio medio de la Tierra (6.378 Km)

H= Distancia de la órbita geostacionaria desde la Tierra (35789 Km)

α = Ángulo de elevación de la estación terrena (50,97°)

$$d = \sqrt{(Re + H)^2 + Re^2 - 2Re(Re + H) * \text{Sen}[\alpha + \text{Sen}^{-1}\left(\frac{Re}{Re + H}\right) * \text{Cos}(\alpha)]}$$

d

$$= \sqrt{1778055889 + 40678884 - 537882252 * \text{Sen}[50,97^\circ + \text{Sen}^{-1}\left(\frac{6.378}{42167}\right) * 0,630]}$$

$$d = \sqrt{1818734773 - 537882252 * \text{Sen}[50,97^\circ + 8,69^\circ * 0,630]}$$

$$d = \sqrt{1370489133,96}$$

$$d = 37.020,12 \text{ Km}$$

3.4 Zumba

Donde:

Re= Radio medio de la Tierra (6.378 Km)

H= Distancia de la órbita geostacionaria desde la Tierra (35789 Km)

α = Ángulo de elevación de la estación terrena (49,97°)

$$d = \sqrt{(Re + H)^2 + Re^2 - 2Re(Re + H) * \text{Sen}[\alpha + \text{Sen}^{-1}\left(\frac{Re}{Re + H}\right) * \text{Cos}(\alpha)]}$$

d

$$= \sqrt{1778055889 + 40678884 - 537882252 * \text{Sen}[49,97^\circ + \text{Sen}^{-1}\left(\frac{6.378}{42167}\right) * 0,643]}$$

$$d = \sqrt{1818734773 - 537882252 * \text{Sen}[49,97^\circ + 8,69^\circ * 0,643]}$$

$$d = \sqrt{1375145497,62}$$

$$d = 37.082,95 \text{ Km}$$

3.5 Macará

Donde:

Re= Radio medio de la Tierra (6.378 Km)

H= Distancia de la órbita geostacionaria desde la Tierra (35789 Km)

α = Ángulo de elevación de la estación terrena (49,1°)

$$d = \sqrt{(Re + H)^2 + Re^2 - 2Re(Re + H) * \text{Sen}[\alpha + \text{Sen}^{-1}\left(\frac{Re}{Re + H}\right) * \text{Cos}(\alpha)]}$$

$$d = \sqrt{1778055889 + 40678884 - 537882252 * \text{Sen}[49,1^\circ + \text{Sen}^{-1}\left(\frac{6.378}{42167}\right) * 0,655]}$$

$$d = \sqrt{1818734773 - 537882252 * \text{Sen}[49,1^\circ + 8,69^\circ * 0,655]}$$

$$d = \sqrt{1379250601,3}$$

$$d = 37.138,3 \text{ Km}$$

3.6 Taisha

Donde:

Re= Radio medio de la Tierra (6.378 Km)

H= Distancia de la órbita geostacionaria desde la Tierra (35789 Km)

α = Ángulo de elevación de la estación terrena (52,03°)

$$d = \sqrt{(Re + H)^2 + Re^2 - 2Re(Re + H) * \text{Sen}[\alpha + \text{Sen}^{-1}\left(\frac{Re}{Re + H}\right) * \text{Cos}(\alpha)]}$$

d

$$= \sqrt{1778055889 + 40678884 - 537882252 * \text{Sen}[52,03^\circ + \text{Sen}^{-1}\left(\frac{6.378}{42167}\right) * 0,615]}$$

$$d = \sqrt{1818734773 - 537882252 * \text{Sen}[52,03^\circ + 8,69^\circ * 0,615]}$$

$$d = \sqrt{1365713418,2}$$

$$d = 36.955,6 \text{ Km}$$

3.7 Lumbaqui

Donde:

Re= Radio medio de la Tierra (6.378 Km)

H= Distancia de la órbita geostacionaria desde la Tierra (35789 Km)

α = Ángulo de elevación de la estación terrena (52,38°)

$$d = \sqrt{(Re + H)^2 + Re^2 - 2Re(Re + H) * \text{Sen}[\alpha + \text{Sen}^{-1}\left(\frac{Re}{Re + H}\right) * \text{Cos}(\alpha)]}$$

d

$$= \sqrt{1778055889 + 40678884 - 537882252 * \text{Sen}[52,38^\circ + \text{Sen}^{-1}\left(\frac{6.378}{42167}\right) * 0,610]}$$

$$d = \sqrt{1818734773 - 537882252 * \text{Sen}[52,38^\circ + 8,69^\circ * 0,615]}$$

$$d = \sqrt{1364160881,94}$$

$$d = 36.934,5 \text{ Km}$$

3.8 Santa Rosa

Donde:

Re= Radio medio de la Tierra (6.378 Km)

H= Distancia de la órbita geostacionaria desde la Tierra (35789 Km)

α = Ángulo de elevación de la estación terrena (37,62°)

$$d = \sqrt{(Re + H)^2 + Re^2 - 2Re(Re + H) * \text{Sen}[\alpha + \text{Sen}^{-1}\left(\frac{Re}{Re + H}\right) * \text{Cos}(\alpha)]}$$

d

$$= \sqrt{1778055889 + 40678884 - 537882252 * \text{Sen}[37,62^\circ + \text{Sen}^{-1}\left(\frac{6.378}{42167}\right) * 0,792]}$$

$$d = \sqrt{1818734773 - 537882252 * \text{Sen}[37,62^\circ + 8,69^\circ * 0,792]}$$

$$d = \sqrt{1441711514,1}$$

$$d = 37.969,9 \text{ Km}$$

3.9 Río Verde

Donde:

Re= Radio medio de la Tierra (6.378 Km)

H= Distancia de la órbita geostacionaria desde la Tierra (35789 Km)

α = Ángulo de elevación de la estación terrena (49,92°)

$$d = \sqrt{(Re + H)^2 + Re^2 - 2Re(Re + H) * \text{Sen}[\alpha + \text{Sen}^{-1}\left(\frac{Re}{Re + H}\right) * \text{Cos}(\alpha)]}$$

d

$$= \sqrt{1778055889 + 40678884 - 537882252 * \text{Sen}[49,92^\circ + \text{Sen}^{-1}\left(\frac{6.378}{42167}\right) * 0,644]}$$

$$d = \sqrt{1818734773 - 537882252 * \text{Sen}[49,92^\circ + 8,69^\circ * 0,644]}$$

$$d = \sqrt{137536949,5}$$

$$d = 37.085,9 \text{ Km}$$

3.10 Punta Galera

Donde:

Re= Radio medio de la Tierra (6.378 Km)

H= Distancia de la órbita geoestacionaria desde la Tierra (35789 Km)

α = Ángulo de elevación de la estación terrena (49,33°)

$$d = \sqrt{(\text{Re} + \text{H})^2 + \text{Re}^2 - 2\text{Re}(\text{Re} + \text{H}) * \text{Sen}[\alpha + \text{Sen}^{-1}\left(\frac{\text{Re}}{\text{Re} + \text{H}}\right) * \text{Cos}(\alpha)]}$$

d

$$= \sqrt{1778055889 + 40678884 - 537882252 * \text{Sen}[49,33^\circ + \text{Sen}^{-1}\left(\frac{6.378}{42167}\right) * 0,652]}$$

$$d = \sqrt{1818734773 - 537882252 * \text{Sen}[49,33^\circ + 8,69^\circ * 0,652]}$$

$$d = \sqrt{1378149612}$$

$$d = 37.123,4 \text{ Km}$$

3.11 Lita

Donde:

Re= Radio medio de la Tierra (6.378 Km)

H= Distancia de la órbita geoestacionaria desde la Tierra (35789 Km)

α = Ángulo de elevación de la estación terrena (51,03°)

$$d = \sqrt{(Re + H)^2 + Re^2 - 2Re(Re + H) * \text{Sen}[\alpha + \text{Sen}^{-1}\left(\frac{Re}{Re + H}\right) * \text{Cos}(\alpha)]}$$

d

$$= \sqrt{1778055889 + 40678884 - 537882252 * \text{Sen}[51,03^\circ + \text{Sen}^{-1}\left(\frac{6.378}{42167}\right) * 0,630]}$$

$$d = \sqrt{1818734773 - 537882252 * \text{Sen}[51,03^\circ + 8,69^\circ * 0,630]}$$

$$d = \sqrt{1370178037}$$

$$d = 37.015,9 \text{ Km}$$

3.12 Cabo Pasado

Donde:

Re= Radio medio de la Tierra (6.378 Km)

H= Distancia de la órbita geostacionaria desde la Tierra (35789 Km)

α = Ángulo de elevación de la estación terrena (48,88°)

$$d = \sqrt{(Re + H)^2 + Re^2 - 2Re(Re + H) * \text{Sen}[\alpha + \text{Sen}^{-1}\left(\frac{Re}{Re + H}\right) * \text{Cos}(\alpha)]}$$

d

$$= \sqrt{1778055889 + 40678884 - 537882252 * \text{Sen}[48,88^\circ + \text{Sen}^{-1}\left(\frac{6.378}{42167}\right) * 0,658]}$$

$$d = \sqrt{1818734773 - 537882252 * \text{Sen}[48,88^\circ + 8,69^\circ * 0,658]}$$

$$d = \sqrt{1380302766,4}$$

$$d = 37.152,4 \text{ Km}$$

3.13 Isla Puná

Donde:

Re= Radio medio de la Tierra (6.378 Km)

H= Distancia de la órbita geostacionaria desde la Tierra (35789 Km)

α = Ángulo de elevación de la estación terrena (48,91°)

$$d = \sqrt{(Re + H)^2 + Re^2 - 2Re(Re + H) * \text{Sen}[\alpha + \text{Sen}^{-1}\left(\frac{Re}{Re + H}\right) * \text{Cos}(\alpha)]}$$

d

$$= \sqrt{1778055889 + 40678884 - 537882252 * \text{Sen}[48,91^\circ + \text{Sen}^{-1}\left(\frac{6.378}{42167}\right) * 0,657]}$$

$$d = \sqrt{1818734773 - 537882252 * \text{Sen}[48,91^\circ + 8,69^\circ * 0,657]}$$

$$d = \sqrt{1380186903,4}$$

$$d = 37.150,9 \text{ Km}$$

3.14 Macas

Donde:

Re= Radio medio de la Tierra (6.378 Km)

H= Distancia de la órbita geostacionaria desde la Tierra (35789 Km)

α = Ángulo de elevación de la estación terrena (51,31°)

$$d = \sqrt{(Re + H)^2 + Re^2 - 2Re(Re + H) * \text{Sen}[\alpha + \text{Sen}^{-1}\left(\frac{Re}{Re + H}\right) * \text{Cos}(\alpha)]}$$

d

$$= \sqrt{1778055889 + 40678884 - 537882252 * \text{Sen}[51,31^\circ + \text{Sen}^{-1}\left(\frac{6.378}{42167}\right) * 0,625]}$$

$$d = \sqrt{1818734773 - 537882252 * \text{Sen}[51,31^\circ + 8,69^\circ * 0,625]}$$

$$d = \sqrt{1368956336,1}$$

$$d = 36.999,4 \text{ Km}$$

3.15 Sangay

Donde:

Re= Radio medio de la Tierra (6.378 Km)

H= Distancia de la órbita geostacionaria desde la Tierra (35789 Km)

α = Ángulo de elevación de la estación terrena (51,07°)

$$d = \sqrt{(\text{Re} + \text{H})^2 + \text{Re}^2 - 2\text{Re}(\text{Re} + \text{H}) * \text{Sen}[\alpha + \text{Sen}^{-1}\left(\frac{\text{Re}}{\text{Re} + \text{H}}\right) * \text{Cos}(\alpha)]}$$

d

$$= \sqrt{1778055889 + 40678884 - 537882252 * \text{Sen}[51,07^\circ + \text{Sen}^{-1}\left(\frac{6.378}{42167}\right) * 0,628]}$$

$$d = \sqrt{1818734773 - 537882252 * \text{Sen}[51,07^\circ + 8,69^\circ * 0,628]}$$

$$d = \sqrt{1370044214,04}$$

$$d = 37.014,1 \text{ Km}$$

3.16 OVT

Donde:

Re= Radio medio de la Tierra (6.378 Km)

H= Distancia de la órbita geostacionaria desde la Tierra (35789 Km)

α = Ángulo de elevación de la estación terrena (50,96°)

$$d = \sqrt{(Re + H)^2 + Re^2 - 2Re(Re + H) * \text{Sen}[\alpha + \text{Sen}^{-1}\left(\frac{Re}{Re + H}\right) * \text{Cos}(\alpha)]}$$

d

$$= \sqrt{1778055889 + 40678884 - 537882252 * \text{Sen}[50,96^\circ + \text{Sen}^{-1}\left(\frac{6.378}{42167}\right) * 0,630]}$$

$$d = \sqrt{1818734773 - 537882252 * \text{Sen}[50,96^\circ + 8,69^\circ * 0,630]}$$

$$d = \sqrt{1370541031,2}$$

$$d = 37.020,8 \text{ Km}$$

3.17 Instituto Geofísico

Donde:

Re= Radio medio de la Tierra (6.378 Km)

H= Distancia de la órbita geostacionaria desde la Tierra (35789 Km)

α = Ángulo de elevación de la estación terrena (51,06°)

$$d = \sqrt{(Re + H)^2 + Re^2 - 2Re(Re + H) * \text{Sen}[\alpha + \text{Sen}^{-1}\left(\frac{Re}{Re + H}\right) * \text{Cos}(\alpha)]}$$

d

$$= \sqrt{1778055889 + 40678884 - 537882252 * \text{Sen}[51,06^\circ + \text{Sen}^{-1}\left(\frac{6.378}{42167}\right) * 0,629]}$$

$$d = \sqrt{1818734773 - 537882252 * \text{Sen}[51,06^\circ + 8,69^\circ * 0,629]}$$

$$d = \sqrt{1370067664,9}$$

$$d = 37.014,4 \text{ Km}$$

3.18 Proveedor HUB

Donde:

Re= Radio medio de la Tierra (6.378 Km)

H= Distancia de la órbita geostacionaria desde la Tierra (35789 Km)

α = Ángulo de elevación de la estación terrena (54,5°)

$$d = \sqrt{(Re + H)^2 + Re^2 - 2Re(Re + H) * \text{Sen}[\alpha + \text{Sen}^{-1}\left(\frac{Re}{Re + H}\right) * \text{Cos}(\alpha)]}$$

$$d = \sqrt{1778055889 + 40678884 - 537882252 * \text{Sen}[54,5^\circ + \text{Sen}^{-1}\left(\frac{6.378}{42167}\right) * 0,580]}$$

$$d = \sqrt{1818734773 - 537882252 * \text{Sen}[54,5^\circ + 8,69^\circ * 0,580]}$$

$$d = \sqrt{1355088313,87}$$

$$d = 36.811,52 \text{ Km}$$

4. Cálculos para tiempos de retardo entre el satélite y las estaciones terrenas

4.1 Puerto López

$$t = \frac{d}{c}$$

Donde:

t= retardo

d= distancia de la estación terrena al satélite (37.233,3 Km)

c= velocidad de la luz (3×10^8 m/s)

$$t = \frac{37.233,3 \times 10^3 \text{ [m]}}{3 \times 10^8 \text{ [m/s]}}$$

$$t = 124,1 \text{ ms}$$

$$T \text{ total} = 248,22 \text{ ms}$$

4.2 Ana Tenorio

Donde:

t= retardo

d= distancia de la estación terrena al satélite (36.984,6 Km)

c= velocidad de la luz ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$)

$$t = \frac{36.984,6 \times 10^3 \text{ [m]}}{3 \times 10^8 \text{ [m/s]}}$$

$$t = 123,3 \text{ ms}$$

$$T \text{ total} = 246,6 \text{ ms}$$

4.3 San Juan Bosco

Donde:

t= retardo

d= distancia de la estación terrena al satélite (37.020,12 Km)

c= velocidad de la luz ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$)

$$t = \frac{37.020,12 \times 10^3 \text{ [m]}}{3 \times 10^8 \text{ [m/s]}}$$

$$t = 123,4 \text{ ms}$$

$$T \text{ total} = 246,8 \text{ ms}$$

4.4 Zumba

Donde:

t= retardo

d= distancia de la estación terrena al satélite (37.082,95 Km)

c= velocidad de la luz (3×10^8 m/s)

$$t = \frac{37.082,95 \times 10^3 \text{ [m]}}{3 \times 10^8 \text{ [m/s]}}$$

$$t = 123,6 \text{ ms}$$

$$T \text{ total} = 247,2 \text{ ms}$$

4.5 Macará

Donde:

t= retardo

d= distancia de la estación terrena al satélite (37.183,3 Km)

c= velocidad de la luz (3×10^8 m/s)

$$t = \frac{37.183,3 \times 10^3 \text{ [m]}}{3 \times 10^8 \text{ [m/s]}}$$

$$t = 123,9 \text{ ms}$$

$$T \text{ total} = 247,9 \text{ ms}$$

4.6 Taisha

Donde:

t= retardo

d= distancia de la estación terrena al satélite (36.955,6 Km)

c= velocidad de la luz (3×10^8 m/s)

$$t = \frac{36.955,6 \times 10^3 \text{ [m]}}{3 \times 10^8 \text{ [m/s]}}$$

$$t = 123,2 \text{ ms}$$

$$T \text{ total} = 246,4 \text{ ms}$$

4.7 Lumbaqui

Donde:

t= retardo

d= distancia de la estación terrena al satélite (36.934,5 Km)

c= velocidad de la luz ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$)

$$t = \frac{36.934,5 \times 10^3 \text{ [m]}}{3 \times 10^8 \text{ [m/s]}}$$

$$t = 123,1 \text{ ms}$$

$$T \text{ total} = 246,2 \text{ ms}$$

4.8 Santa Rosa

Donde:

t= retardo

d= distancia de la estación terrena al satélite (37.969,9 Km)

c= velocidad de la luz ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$)

$$t = \frac{37.969,9 \times 10^3 \text{ [m]}}{3 \times 10^8 \text{ [m/s]}}$$

$$t = 126,6 \text{ ms}$$

$$T \text{ total} = 253,1 \text{ ms}$$

4.9 Río Verde

Donde:

t= retardo

d= distancia de la estación terrena al satélite (37.085,9 Km)

c= velocidad de la luz (3×10^8 m/s)

$$t = \frac{37.085,9 \times 10^3 \text{ [m]}}{3 \times 10^8 \text{ [m/s]}}$$

$$t = 123,6 \text{ ms}$$

$$T \text{ total} = 247,2 \text{ ms}$$

4.10 Punta Galera

Donde:

t= retardo

d= distancia de la estación terrena al satélite (37.123,4 Km)

c= velocidad de la luz (3×10^8 m/s)

$$t = \frac{37.123,4 \times 10^3 \text{ [m]}}{3 \times 10^8 \text{ [m/s]}}$$

$$t = 123,7 \text{ ms}$$

$$T \text{ total} = 247,5 \text{ ms}$$

4.11 Lita

Donde:

t= retardo

d= distancia de la estación terrena al satélite (37.015,9 Km)

c= velocidad de la luz (3×10^8 m/s)

$$t = \frac{37.015,9 \times 10^3 \text{ [m]}}{3 \times 10^8 \text{ [m/s]}}$$

$$t = 123,4 \text{ ms}$$

$$T \text{ total} = 246,8 \text{ ms}$$

4.12 Cabo Pasado

Donde:

t= retardo

d= distancia de la estación terrena al satélite (37.152,4 Km)

c= velocidad de la luz ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$)

$$t = \frac{37.152,4 \times 10^3 \text{ [m]}}{3 \times 10^8 \text{ [m/s]}}$$

$$t = 123,8 \text{ ms}$$

$$T \text{ total} = 247,7 \text{ ms}$$

4.13 Isla Puná

Donde:

t= retardo

d= distancia de la estación terrena al satélite (37.150,9 Km)

c= velocidad de la luz ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$)

$$t = \frac{37.150,9 \times 10^3 \text{ [m]}}{3 \times 10^8 \text{ [m/s]}}$$

$$t = 123,8 \text{ ms}$$

$$T \text{ total} = 247,7 \text{ ms}$$

4.14 Macas

Donde:

t= retardo

d= distancia de la estación terrena al satélite (36.999,4 Km)

c= velocidad de la luz (3×10^8 m/s)

$$t = \frac{36.999,4 \times 10^3 \text{ [m]}}{3 \times 10^8 \text{ [m/s]}}$$

$$t = 123,3 \text{ ms}$$

$$T \text{ total} = 246,7 \text{ ms}$$

4.15 Sangay

Donde:

t= retardo

d= distancia de la estación terrena al satélite (37.014,1 Km)

c= velocidad de la luz (3×10^8 m/s)

$$t = \frac{37.014,1 \times 10^3 \text{ [m]}}{3 \times 10^8 \text{ [m/s]}}$$

$$t = 123,4 \text{ ms}$$

$$T \text{ total} = 246,8 \text{ ms}$$

4.16 OVT

Donde:

t= retardo

d= distancia de la estación terrena al satélite (37.020,8 Km)

c= velocidad de la luz (3×10^8 m/s)

$$t = \frac{37.020,8 \times 10^3 \text{ [m]}}{3 \times 10^8 \text{ [m/s]}}$$

$$t = 123,4 \text{ ms}$$

T total = 246,8 ms

4.17 Instituto Geofísico

Donde:

t= retardo

d= distancia de la estación terrena al satélite (37.014,4 Km)

c= velocidad de la luz (3×10^8 m/s)

$$t = \frac{37.014,4 \times 10^3 \text{ [m]}}{3 \times 10^8 \text{ [m/s]}}$$

t = 123,4 ms

T total = 246,8 ms

4.18 Proveedor - HUB

Donde:

t= retardo

d= distancia de la estación terrena al satélite (36.811,52 Km)

c= velocidad de la luz (3×10^8 m/s)

$$t = \frac{36.811,52 \times 10^3 \text{ [m]}}{3 \times 10^8 \text{ [m/s]}}$$

t = 122,7 ms

T total = 245,4 ms

5. Cálculos para los anchos de banda de las portadoras

5.1 Puerto López

$$BW[\text{KHz}] = \left(\frac{V_{tx}}{\frac{FEC}{2}} \right) * 1,4$$

$$BW[\text{KHz}] = \left(\frac{\frac{120}{3/4}}{2} \right) * 1,4$$

$$BW[\text{KHz}] = (80) * 1,4$$

$$BW[\text{KHz}] = 112,0 \text{ KHz}$$

5.2 Ana Tenorio

$$BW[\text{KHz}] = \left(\frac{\frac{120}{3/4}}{2} \right) * 1,4$$

$$BW[\text{KHz}] = (80) * 1,4$$

$$BW[\text{KHz}] = 112,0 \text{ KHz}$$

5.3 San Juan Bosco

$$BW[\text{KHz}] = \left(\frac{\frac{60,88}{3/4}}{2} \right) * 1,4$$

$$BW[\text{KHz}] = (40,59) * 1,4$$

$$BW[\text{KHz}] = 56,82 \text{ KHz}$$

5.4 Zumba

$$BW[\text{KHz}] = \left(\frac{\frac{145}{3/4}}{2} \right) * 1,4$$

$$BW[\text{KHz}] = (96,67) * 1,4$$

$$BW[\text{KHz}] = 135,34 \text{ KHz}$$

5.5 Macará

$$BW[\text{KHz}] = \left(\frac{\frac{145}{3/4}}{2} \right) * 1,4$$

$$BW[\text{KHz}] = (96,67) * 1,4$$

$$BW[\text{KHz}] = 135,34 \text{ KHz}$$

5.6 Taisha

$$BW[\text{KHz}] = \left(\frac{\frac{145}{3/4}}{2} \right) * 1,4$$

$$BW[\text{KHz}] = (96,67) * 1,4$$

$$BW[\text{KHz}] = 135,34 \text{ KHz}$$

5.7 Lumbaqui

$$BW[\text{KHz}] = \left(\frac{\frac{577}{3/4}}{2} \right) * 1,4$$

$$BW[\text{KHz}] = (384,67) * 1,4$$

$$BW[\text{KHz}] = 538,53 \text{ KHz}$$

5.8 Santa Rosa

$$BW[\text{KHz}] = \left(\frac{\frac{613,52}{3/4}}{2} \right) * 1,4$$

$$BW[\text{KHz}] = (409,01) * 1,4$$

$$BW[\text{KHz}] = 572,62 \text{ KHz}$$

5.9 Río Verde

$$BW[\text{KHz}] = \left(\frac{\frac{145}{3/4}}{2} \right) * 1,4$$

$$BW[\text{KHz}] = (96,67) * 1,4$$

$$BW[\text{KHz}] = 135,34 \text{ KHz}$$

5.10 Punta Galera

$$BW[\text{KHz}] = \left(\frac{\frac{145}{3/4}}{2} \right) * 1,4$$

$$BW[\text{KHz}] = (96,67) * 1,4$$

$$BW[\text{KHz}] = 135,34 \text{ KHz}$$

5.11 Lita

$$BW[\text{KHz}] = \left(\frac{\frac{63,88}{3/4}}{2} \right) * 1,4$$

$$BW[\text{KHz}] = (42,59) * 1,4$$

$$BW[\text{KHz}] = 59,62 \text{ KHz}$$

5.12 Cabo Pasado

$$BW[\text{KHz}] = \left(\frac{\frac{145}{3/4}}{2} \right) * 1,4$$

$$BW[\text{KHz}] = (96,67) * 1,4$$

$$BW[\text{KHz}] = 135,34 \text{ KHz}$$

5.13 Isla Puná

$$BW[\text{KHz}] = \left(\frac{\frac{120}{3/4}}{2} \right) * 1,4$$

$$BW[\text{KHz}] = (80) * 1,4$$

$$BW[\text{KHz}] = 112,0 \text{ KHz}$$

5.14 Macas

$$BW[\text{KHz}] = \left(\frac{\frac{60,88}{3/4}}{2} \right) * 1,4$$

$$BW[\text{KHz}] = (40,59) * 1,4$$

$$BW[\text{KHz}] = 56,82 \text{ KHz}$$

5.15 Sangay

$$BW[\text{KHz}] = \left(\frac{\frac{123,88}{3/4}}{2} \right) * 1,4$$

$$BW[\text{KHz}] = (82,59) * 1,4$$

$$BW[\text{KHz}] = 115,62 \text{ KHz}$$

5.16 OVT

$$BW[\text{KHz}] = \left(\frac{\frac{2.996,84}{3/4}}{2} \right) * 1,4$$

$$BW[\text{KHz}] = (1.997,9) * 1,4$$

$$BW[\text{KHz}] = 2.797,1 \text{ KHz}$$

5.17 IG

$$BW[\text{KHz}] = \left(\frac{\frac{2.996,84}{3/4}}{2} \right) * 1,4$$

$$BW[\text{KHz}] = (1.997,9) * 1,4$$

$$BW[\text{KHz}] = 2.797,1 \text{ KHz}$$

6. Cálculo de las pérdidas en el espacio libre para el enlace ascendente entre cada estación terrena y el satélite

6.1 Puerto López

$$L_{pu} = 92,44 + 20\log(d)[\text{Km}] + 20\log(f) [\text{GHz}]$$

Donde:

d= distancia entre la estación terrena y el satélite

$$L_{pu} = 92,44 + 20\log(37.233,3)[\text{Km}] + 20\log(6) [\text{GHz}]$$

$$L_{pu} = 92,44 + 91,42 + 15,6$$

$$L_{pu} = 199,46 \text{ dB}$$

6.2 Ana Tenorio

$$L_p = 92,44 + 20\log(d)[\text{Km}] + 20 \log(f) [\text{GHz}]$$

Donde:

d= distancia entre la estación terrena y el satélite

$$L_{pu} = 92,44 + 20\log(36.984,6)[\text{Km}] + 20 \log(6) [\text{GHz}]$$

$$L_{pu} = 92,44 + 91,36 + 15,6$$

$$L_{pu} = 199,4 \text{ dB}$$

6.3 San Juan Bosco

$$L_p = 92,44 + 20\log(d)[\text{Km}] + 20 \log(f) [\text{GHz}]$$

Donde:

d= distancia entre la estación terrena y el satélite

$$L_{pu} = 92,44 + 20\log(37.020,12)[\text{Km}] + 20 \log(6) [\text{GHz}]$$

$$L_{pu} = 92,44 + 91,37 + 15,6$$

$$L_{pu} = 199,41 \text{ dB}$$

6.4 Zumba

$$L_{pu} = 92,44 + 20\log(d)[\text{Km}] + 20 \log(f) [\text{GHz}]$$

Donde:

d= distancia entre la estación terrena y el satélite

$$L_{pu} = 92,44 + 20\log(37.082,95)[\text{Km}] + 20 \log(6) [\text{GHz}]$$

$$L_{pu} = 92,44 + 91,38 + 15,6$$

$$L_{pu} = 199,42 \text{ dB}$$

6.5 Macará

$$L_p = 92,44 + 20\log(d)[\text{Km}] + 20\log(f) [\text{GHz}]$$

Donde:

d= distancia entre la estación terrena y el satélite

$$L_{pu} = 92,44 + 20\log(37.183,3) [\text{Km}] + 20\log(6) [\text{GHz}]$$

$$L_{pu} = 92,44 + 91,41 + 15,6$$

$$L_{pu} = 199,44 \text{ dB}$$

6.6 Taisha

$$L_p = 92,44 + 20\log(d)[\text{Km}] + 20\log(f) [\text{GHz}]$$

Donde:

d= distancia entre la estación terrena y el satélite

$$L_{pu} = 92,44 + 20\log(36.955,6) [\text{Km}] + 20\log(6) [\text{GHz}]$$

$$L_{pu} = 92,44 + 91,41 + 15,6$$

$$L_{pu} = 199,40 \text{ dB}$$

6.7 Lumbaqui

$$L_{pu} = 92,44 + 20\log(d)[\text{Km}] + 20\log(f) [\text{GHz}]$$

Donde:

d= distancia entre la estación terrena y el satélite

$$L_{pu} = 92,44 + 20\log(36.934,5) [\text{Km}] + 20\log(6) [\text{GHz}]$$

$$L_{pu} = 92,44 + 91,35 + 15,6$$

$$L_{pu} = 199,39 \text{ dB}$$

6.8 Santa Rosa

$$L_p = 92,44 + 20\log(d)[\text{Km}] + 20 \log(f) [\text{GHz}]$$

Donde:

d= distancia entre la estación terrena y el satélite

$$L_{pu} = 92,44 + 20\log(37.969,9)[\text{Km}] + 20 \log(6) [\text{GHz}]$$

$$L_{pu} = 92,44 + 91,6 + 15,6$$

$$L_{pu} = 199,63 \text{ dB}$$

6.9 Río Verde

$$L_p = 92,44 + 20\log(d)[\text{Km}] + 20 \log(f) [\text{GHz}]$$

Donde:

d= distancia entre la estación terrena y el satélite

$$L_{pu} = 92,44 + 20\log(37.085,9)[\text{Km}] + 20 \log(6) [\text{GHz}]$$

$$L_{pu} = 92,44 + 91,38 + 15,6$$

$$L_{pu} = 199,42 \text{ dB}$$

6.10 Punta Galera

$$L_p = 92,44 + 20\log(d)[\text{Km}] + 20 \log(f) [\text{GHz}]$$

Donde:

d= distancia entre la estación terrena y el satélite

$$L_{pu} = 92,44 + 20\log(37.123,4)[\text{Km}] + 20 \log(6) [\text{GHz}]$$

$$L_{pu} = 92,44 + 91,4 + 15,6$$

$$L_{pu} = 199,43 \text{ dB}$$

6.11 Lita

$$L_p = 92,44 + 20\log(d)[\text{Km}] + 20\log(f) [\text{GHz}]$$

Donde:

d= distancia entre la estación terrena y el satélite

$$L_{pu} = 92,44 + 20\log(37.015,9)[\text{Km}] + 20\log(6) [\text{GHz}]$$

$$L_{pu} = 92,44 + 91,36 + 15,6$$

$$L_{pu} = 199,41 \text{ dB}$$

6.12 Cabo Pasado

$$L_p = 92,44 + 20\log(d)[\text{Km}] + 20\log(f) [\text{GHz}]$$

Donde:

d= distancia entre la estación terrena y el satélite

$$L_{pu} = 92,44 + 20\log(37.152,4)[\text{Km}] + 20\log(6) [\text{GHz}]$$

$$L_{pu} = 92,44 + 91,36 + 15,6$$

$$L_{pu} = 199,44 \text{ dB}$$

6.13 Isla Puná

$$L_p = 92,44 + 20\log(d)[\text{Km}] + 20\log(f) [\text{GHz}]$$

Donde:

d= distancia entre la estación terrena y el satélite

$$L_{pu} = 92,44 + 20\log(37.150,9)[\text{Km}] + 20\log(6) [\text{GHz}]$$

$$L_{pu} = 92,44 + 91,36 + 15,6$$

$$L_{pu} = 199,44 \text{ dB}$$

6.14 Macas

$$L_p = 92,44 + 20\log(d)[\text{Km}] + 20\log(f) [\text{GHz}]$$

Donde:

d= distancia entre la estación terrena y el satélite

$$L_{pu} = 92,44 + 20\log(36.999,4)[\text{Km}] + 20\log(6) [\text{GHz}]$$

$$L_{pu} = 92,44 + 91,36 + 15,6$$

$$L_{pu} = 199,44 \text{ dB}$$

6.15 Sangay

$$L_{pu} = 92,44 + 20\log(d)[\text{Km}] + 20\log(f) [\text{GHz}]$$

Donde:

d= distancia entre la estación terrena y el satélite

$$L_{pu} = 92,44 + 20\log(37.014,1)[\text{Km}] + 20\log(6) [\text{GHz}]$$

$$L_{pu} = 92,44 + 91,36 + 15,6$$

$$L_{pu} = 199,4 \text{ dB}$$

6.16 OVT

$$L_p = 92,44 + 20\log(d)[\text{Km}] + 20\log(f) [\text{GHz}]$$

Donde:

d= distancia entre la estación terrena y el satélite

$$L_{pu} = 92,44 + 20\log(37.020,8)[\text{Km}] + 20\log(6) [\text{GHz}]$$

$$L_{pu} = 92,44 + 91,37 + 15,6$$

$$L_{pu} = 199,41 \text{ dB}$$

6.17 IG

$$L_{pu} = 92,44 + 20\log(d)[\text{Km}] + 20\log(f) [\text{GHz}]$$

Donde:

d= distancia entre la estación terrena y el satélite

$$L_{pu} = 92,44 + 20\log(37.014,4)[\text{Km}] + 20\log(6) [\text{GHz}]$$

$$L_{pu} = 92,44 + 91,37 + 15,6$$

$$L_{pu} = 199,41 \text{ dB}$$

7. Cálculo de la DFPs para cada estación

7.1 Puerto López

$$\text{DFPs} = \text{PIRE}[\text{dBW}] + \text{Meu}[\text{dB}] + G \left[\frac{\text{dBi}}{\text{m}^2} \right] - L_{pu} - L_u$$

$$\text{DFPs} = 46,25 + 3 + 20\log(6) + 21,46 - 199,46 - 1,95$$

$$\text{DFPs} = 46,25 + 3 + 15,56 + 21,46 - 199,46 - 1,95$$

$$\text{DFPs} = -115,14$$

7.2 Ana Tenorio

$$\text{DFPs} = \text{PIRE}[\text{dBW}] + \text{Meu}[\text{dB}] + G \left[\frac{\text{dBi}}{\text{m}^2} \right] - L_p - L_u$$

$$\text{DFPs} = 46,25 + 3 + 15,56 + 21,46 - 199,4 - 1,95$$

$$\text{DFPs} = -115,14$$

7.3 San Juan Bosco

$$\text{DFPs} = \text{PIRE}[\text{dBW}] + \text{Meu}[\text{dB}] + G \left[\frac{\text{dBi}}{\text{m}^2} \right] - L_p - L_u$$

$$\text{DFPs} = 46,25 + 3 + 15,56 + 21,46 - 199,41 - 1,95$$

$$\text{DFPs} = -115,09$$

7.4 Zumba

$$\text{DFPs} = \text{PIRE}[\text{dBW}] + \text{Meu}[\text{dB}] + G \left[\frac{\text{dBi}}{\text{m}^2} \right] - L_p - L_u$$

$$\text{DFPs} = 46,25 + 3 + 15,56 + 21,46 - 199,42 - 1,95$$

$$\text{DFPs} = -115,1$$

7.5 Macará

$$\text{DFPs} = \text{PIRE}[\text{dBW}] + \text{Meu}[\text{dB}] + G \left[\frac{\text{dBi}}{\text{m}^2} \right] - L_p - L_u$$

$$\text{DFPs} = 46,25 + 3 + 15,56 + 21,46 - 199,44 - 1,95$$

$$\text{DFPs} = -115,12$$

7.6 Taisha

$$\text{DFPs} = \text{PIRE}[\text{dBW}] + \text{Meu}[\text{dB}] + G \left[\frac{\text{dBi}}{\text{m}^2} \right] - L_p - L_u$$

$$\text{DFPs} = 46,25 + 3 + 15,56 + 21,46 - 199,40 - 1,95$$

$$\text{DFPs} = -115,08$$

7.7 Lumbaqui

$$\text{DFPs} = \text{PIRE}[\text{dBW}] + \text{Meu}[\text{dB}] + G \left[\frac{\text{dBi}}{\text{m}^2} \right] - L_p - L_u$$

$$\text{DFPs} = 48,9 + 3 + 15,56 + 21,46 - 199,39 - 1,95$$

$$\text{DFPs} = -112,42$$

7.8 Santa Rosa

$$\text{DFPs} = \text{PIRE}[\text{dBW}] + \text{Meu}[\text{dB}] + G \left[\frac{\text{dBi}}{\text{m}^2} \right] - L_p - L_u$$

$$\text{DFPs} = 48,9 + 3 + 15,56 + 21,46 - 199,63 - 1,95$$

$$\text{DFPs} = -112,66$$

7.9 Río Verde

$$\text{DFPs} = \text{PIRE}[\text{dBW}] + \text{Meu}[\text{dB}] + G \left[\frac{\text{dBi}}{\text{m}^2} \right] - L_p - L_u$$

$$\text{DFPs} = 46,25 + 3 + 15,56 + 21,46 - 199,42 - 1,95$$

$$\text{DFPs} = -115,1$$

7.10 Punta Galera

$$\text{DFPs} = \text{PIRE}[\text{dBW}] + \text{Meu}[\text{dB}] + G \left[\frac{\text{dBi}}{\text{m}^2} \right] - L_p - L_u$$

$$\text{DFPs} = 46,25 + 3 + 15,56 + 21,46 - 199,43 - 1,95$$

$$\text{DFPs} = -115,11$$

7.11 Lita

$$\text{DFPs} = \text{PIRE}[\text{dBW}] + \text{Meu}[\text{dB}] + G \left[\frac{\text{dBi}}{\text{m}^2} \right] - L_p - L_u$$

$$\text{DFPs} = 46,25 + 3 + 15,56 + 21,46 - 199,41 - 1,95$$

$$\text{DFPs} = -115,09$$

7.12 Cabo Pasado

$$\text{DFPs} = \text{PIRE}[\text{dBW}] + \text{Meu}[\text{dB}] + G \left[\frac{\text{dBi}}{\text{m}^2} \right] - L_p - L_u$$

$$\text{DFPs} = 46,25 + 3 + 15,56 + 21,46 - 199,44 - 1,95$$

$$\text{DFPs} = -115,12$$

7.13 Isla Puná

$$\text{DFPs} = \text{PIRE}[\text{dBW}] + \text{Meu}[\text{dB}] + G \left[\frac{\text{dBi}}{\text{m}^2} \right] - L_p - L_u$$

$$\text{DFPs} = 46,25 + 3 + 15,56 + 21,46 - 199,44 - 1,95$$

$$\text{DFPs} = -115,12$$

7.14 Macas

$$\text{DFPs} = \text{PIRE}[\text{dBW}] + \text{Meu}[\text{dB}] + G \left[\frac{\text{dBi}}{\text{m}^2} \right] - L_p - L_u$$

$$\text{DFPs} = 46,25 + 3 + 15,56 + 21,46 - 199,44 - 1,95$$

$$\text{DFPs} = -115,12$$

7.15 Sangay

$$\text{DFPs} = \text{PIRE}[\text{dBW}] + \text{Meu}[\text{dB}] + G \left[\frac{\text{dBi}}{\text{m}^2} \right] - L_p - L_u$$

$$\text{DFPs} = 46,25 + 3 + 15,56 + 21,46 - 199,40 - 1,95$$

$$\text{DFPs} = -115,08$$

7.16 OVT

$$\text{DFPs} = \text{PIRE}[\text{dBW}] + \text{Meu}[\text{dB}] + G \left[\frac{\text{dBi}}{\text{m}^2} \right] - L_p - L_u$$

$$\text{DFPs} = 48,9 + 3 + 15,56 + 21,46 - 199,41 - 1,95$$

$$\text{DFPs} = -112,44$$

7.17 IG

$$\text{DFPs} = \text{PIRE}[\text{dBW}] + \text{Meu}[\text{dB}] + G \left[\frac{\text{dBi}}{\text{m}^2} \right] - L_p - L_u$$

$$DFPs = 48,9 + 3 + 15,56 + 21,46 - 199,41 - 1,95$$

$$DFPs = -112,44$$

8. Cálculo del Backoff de entrada y salida para cada portadora

8.1 Puerto López

$$BOi[dBW] = DFPs \left[\frac{dBW}{m^2} \right] - DFP \text{ sat. et} \left[\frac{dBW}{m^2} \right]$$

$$BOi[dBW] = -115,14 \left[\frac{dBW}{m^2} \right] - (-73) \left[\frac{dBW}{m^2} \right]$$

$$BOi[dBW] = -42,14$$

$$BOo[dBW] = BOi[dBW] - X[dBW]$$

$$BOo[dBW] = -42,14 - 5$$

$$BOo[dBW] = -47,14$$

8.2 Ana Tenorio

$$BOi[dBW] = -115,14 \left[\frac{dBW}{m^2} \right] - (-73) \left[\frac{dBW}{m^2} \right]$$

$$BOi[dBW] = -42,14$$

$$BOo[dBW] = -42,14 - 5$$

$$BOo[dBW] = -47,14$$

8.3 San Juan Bosco

$$BOi[dBW] = -115,09 \left[\frac{dBW}{m^2} \right] - (-73) \left[\frac{dBW}{m^2} \right]$$

$$BOi[dBW] = -42,09$$

$$BOo[dBW] = -42,09 - 5$$

$$BOo[dBW] = -47,09$$

8.4 Zumba

$$BOi[dBW] = -115,1 \left[\frac{dBW}{m^2} \right] - (-73) \left[\frac{dBW}{m^2} \right]$$

$$BOi[dBW] = -42,1$$

$$BOo[dBW] = -42,1 - 5$$

$$BOo[dBW] = -47,1$$

8.5 Macará

$$BOi[dBW] = -115,12 \left[\frac{dBW}{m^2} \right] - (-73) \left[\frac{dBW}{m^2} \right]$$

$$BOi[dBW] = -42,12$$

$$BOo[dBW] = -42,12 - 5$$

$$BOo[dBW] = -47,12$$

8.6 Taisha

$$BOi[dBW] = -115,08 \left[\frac{dBW}{m^2} \right] - (-73) \left[\frac{dBW}{m^2} \right]$$

$$BOi[dBW] = -42,08$$

$$BOo[dBW] = -42,08 - 5$$

$$BOo[dBW] = -47,08$$

8.7 Lumbaqui

$$BOi[dBW] = -112,42 \left[\frac{dBW}{m^2} \right] - (-73) \left[\frac{dBW}{m^2} \right]$$

$$BOi[dBW] = -39,42$$

$$BOo[dBW] = -39,42 - 5$$

$$BO_o[\text{dBW}] = -44,42$$

8.8 Santa Rosa

$$BO_i[\text{dBW}] = -112,66 \left[\frac{\text{dBW}}{\text{m}^2} \right] - (-73) \left[\frac{\text{dBW}}{\text{m}^2} \right]$$

$$BO_i[\text{dBW}] = -39,66$$

$$BO_o[\text{dBW}] = -39,66 - 5$$

$$BO_o[\text{dBW}] = -44,66$$

8.9 Río Verde

$$BO_i[\text{dBW}] = -115,1 \left[\frac{\text{dBW}}{\text{m}^2} \right] - (-73) \left[\frac{\text{dBW}}{\text{m}^2} \right]$$

$$BO_i[\text{dBW}] = -42,1$$

$$BO_o[\text{dBW}] = -42,1 - 5$$

$$BO_o[\text{dBW}] = -47,1$$

8.10 Punta Galera

$$BO_i[\text{dBW}] = -115,11 \left[\frac{\text{dBW}}{\text{m}^2} \right] - (-73) \left[\frac{\text{dBW}}{\text{m}^2} \right]$$

$$BO_i[\text{dBW}] = -42,11$$

$$BO_o[\text{dBW}] = -42,11 - 5$$

$$BO_o[\text{dBW}] = -47,11$$

8.11 Lita

$$BO_i[\text{dBW}] = -115,09 \left[\frac{\text{dBW}}{\text{m}^2} \right] - (-73) \left[\frac{\text{dBW}}{\text{m}^2} \right]$$

$$BO_i[\text{dBW}] = -42,09$$

$$BO_o[\text{dBW}] = -42,09 - 5$$

$$BO_o[\text{dBW}] = -47,09$$

8.12 Cabo Pasado

$$BO_i[\text{dBW}] = -115,12 \left[\frac{\text{dBW}}{\text{m}^2} \right] - (-73) \left[\frac{\text{dBW}}{\text{m}^2} \right]$$

$$BO_i[\text{dBW}] = -42,12$$

$$BO_o[\text{dBW}] = -42,12 - 5$$

$$BO_o[\text{dBW}] = -47,12$$

8.13 Isla Puná

$$BO_i[\text{dBW}] = -115,12 \left[\frac{\text{dBW}}{\text{m}^2} \right] - (-73) \left[\frac{\text{dBW}}{\text{m}^2} \right]$$

$$BO_i[\text{dBW}] = -42,12$$

$$BO_o[\text{dBW}] = -42,12 - 5$$

$$BO_o[\text{dBW}] = -47,12$$

8.14 Macas

$$BO_i[\text{dBW}] = -115,12 \left[\frac{\text{dBW}}{\text{m}^2} \right] - (-73) \left[\frac{\text{dBW}}{\text{m}^2} \right]$$

$$BO_i[\text{dBW}] = -42,12$$

$$BO_o[\text{dBW}] = -42,12 - 5$$

$$BO_o[\text{dBW}] = -47,12$$

8.15 Sangay

$$BO_i[\text{dBW}] = -115,08 \left[\frac{\text{dBW}}{\text{m}^2} \right] - (-73) \left[\frac{\text{dBW}}{\text{m}^2} \right]$$

$$BO_i[\text{dBW}] = -42,08$$

$$BO_o[\text{dBW}] = -42,08 - 5$$

$$BO_o[\text{dBW}] = -47,08$$

8.16 OVT

$$BO_i[\text{dBW}] = -112,44 \left[\frac{\text{dBW}}{\text{m}^2} \right] - (-73) \left[\frac{\text{dBW}}{\text{m}^2} \right]$$

$$BO_i[\text{dBW}] = -39,44$$

$$BO_o[\text{dBW}] = -39,44 - 5$$

$$BO_o[\text{dBW}] = -44,44$$

8.17 IG

$$BO_i[\text{dBW}] = -112,44 \left[\frac{\text{dBW}}{\text{m}^2} \right] - (-73) \left[\frac{\text{dBW}}{\text{m}^2} \right]$$

$$BO_i[\text{dBW}] = -39,44$$

$$BO_o[\text{dBW}] = -39,44 - 5$$

$$BO_o[\text{dBW}] = -44,44$$

9. Cálculos para la relación C/T para cada portadora en el enlace ascendente

9.1 Puerto López

$$\frac{C}{T} \text{u} \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = \text{PIRE}[\text{dBW}] - L_{pu}[\text{dB}] - L_u + G/T[\text{dB/°K}] - \text{Meu}$$

$$\frac{C}{T} \text{u} \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = 46,26[\text{dBW}] - 199,46[\text{dB}] - 1,95 - 7,1 \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}} \right] - 3\text{dB}$$

$$\frac{C}{T} \text{u} \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = -165,25$$

9.2 Ana Tenorio

$$\frac{C}{T} u \left[\frac{\text{dBW}}{^\circ\text{K}} \right] = 46,26[\text{dBW}] - 199,4[\text{dB}] - 1,95 - 7,1 \left[\frac{\text{dB}}{^\circ\text{K}} \right] - 3\text{dB}$$

$$\frac{C}{T} u \left[\frac{\text{dBW}}{^\circ\text{K}} \right] = -165,19$$

9.3 San Juan Bosco

$$\frac{C}{T} u \left[\frac{\text{dBW}}{^\circ\text{K}} \right] = 46,26[\text{dBW}] - 199,41[\text{dB}] - 1,95 - 7,1 \left[\frac{\text{dB}}{^\circ\text{K}} \right] - 3\text{dB}$$

$$\frac{C}{T} u \left[\frac{\text{dBW}}{^\circ\text{K}} \right] = -165,2$$

9.4 Zumba

$$\frac{C}{T} u \left[\frac{\text{dBW}}{^\circ\text{K}} \right] = 46,26[\text{dBW}] - 199,42[\text{dB}] - 1,95 - 7,1 \left[\frac{\text{dB}}{^\circ\text{K}} \right] - 3\text{dB}$$

$$\frac{C}{T} u \left[\frac{\text{dBW}}{^\circ\text{K}} \right] = -165,21$$

9.5 Macará

$$\frac{C}{T} u \left[\frac{\text{dBW}}{^\circ\text{K}} \right] = 46,26[\text{dBW}] - 199,44[\text{dB}] - 1,95 - 7,1 \left[\frac{\text{dB}}{^\circ\text{K}} \right] - 3\text{dB}$$

$$\frac{C}{T} u \left[\frac{\text{dBW}}{^\circ\text{K}} \right] = -165,23$$

9.6 Taisha

$$\frac{C}{T} u \left[\frac{\text{dBW}}{^\circ\text{K}} \right] = 46,26[\text{dBW}] - 199,4[\text{dB}] - 1,95 - 7,1 \left[\frac{\text{dB}}{^\circ\text{K}} \right] - 3\text{dB}$$

$$\frac{C}{T} u \left[\frac{\text{dBW}}{^\circ\text{K}} \right] = -165,19$$

9.7 Lumbaqui

$$\frac{C}{T} u \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = 48,9[\text{dBW}] - 199,39[\text{dB}] - 1,95 - 7,1 \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}} \right] - 3\text{dB}$$

$$\frac{C}{T} u \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = -162,54$$

9.8 Santa Rosa

$$\frac{C}{T} u \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = 48,9[\text{dBW}] - 199,63[\text{dB}] - 1,95 - 7,1 \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}} \right] - 3\text{dB}$$

$$\frac{C}{T} u \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = -162,78$$

9.9 Río Verde

$$\frac{C}{T} u \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = 46,26[\text{dBW}] - 199,42[\text{dB}] - 1,95 - 7,1 \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}} \right] - 3\text{dB}$$

$$\frac{C}{T} u \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = -165,21$$

9.10 Punta Galera

$$\frac{C}{T} u \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = 46,26[\text{dBW}] - 199,43[\text{dB}] - 1,95 - 7,1 \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}} \right] - 3\text{dB}$$

$$\frac{C}{T} u \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = -165,22$$

9.11 Lita

$$\frac{C}{T} u \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = 46,26[\text{dBW}] - 199,41[\text{dB}] - 1,95 - 7,1 \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}} \right] - 3\text{dB}$$

$$\frac{C}{T} u \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = -165,2$$

9.12 Cabo Pasado

$$\frac{C}{T} u \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = 46,26[\text{dBW}] - 199,44[\text{dB}] - 1,95 - 7,1 \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}} \right] - 3\text{dB}$$

$$\frac{C}{T} u \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = -165,24$$

9.13 Isla Puná

$$\frac{C}{T} u \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = 46,26[\text{dBW}] - 199,44[\text{dB}] - 1,95 - 7,1 \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}} \right] - 3\text{dB}$$

$$\frac{C}{T} u \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = -165,24$$

9.14 Macas

$$\frac{C}{T} u \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = 46,26[\text{dBW}] - 199,44[\text{dB}] - 1,95 - 7,1 \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}} \right] - 3\text{dB}$$

$$\frac{C}{T} u \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = -165,24$$

9.15 Sangay

$$\frac{C}{T} u \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = 46,26[\text{dBW}] - 199,4[\text{dB}] - 1,95 - 7,1 \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}} \right] - 3\text{dB}$$

$$\frac{C}{T} u \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = -165,19$$

9.16 OVT

$$\frac{C}{T} u \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = 48,9[\text{dBW}] - 199,41[\text{dB}] - 1,95 - 7,1 \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}} \right] - 3\text{dB}$$

$$\frac{C}{T} u \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = -162,56$$

9.17 IG

$$\frac{C}{T} u \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = 48,9[\text{dBW}] - 199,41[\text{dB}] - 1,95 - 7,1 \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}} \right] - 3\text{dB}$$

$$\frac{C}{T} u \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = -162,56$$

10. Cálculos para la relación C/T en el enlace descendente por cada portadora, considerando la relación G/T para la antena más pequeña utilizada

10.1 Puerto López

$$L_{pd} [\text{dB}] = 92,44 + 20\log(37.233,3)[\text{Km}] + 20 \log(4) [\text{GHz}]$$

$$L_{pd} [\text{dB}] = 92,44 + 91,42 + 12,04$$

$$L_{pd} [\text{dB}] = 195,9$$

$$\text{PIREd} = \text{PIRE sat} + \text{BOo}$$

$$\text{PIREd} = 43,5 \text{ dB} - 47,14 \text{ dB}$$

$$\text{PIREd} = -3,64 \text{ dB}$$

$$\frac{C}{T} d \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = -3,64[\text{dBW}] - 195,9[\text{dB}] + 38,52 \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}} \right] - 3\text{dB} - 0,24$$

$$\frac{C}{T} d \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = -164,26$$

10.2 Ana Tenorio

$$L_{pd} [\text{dB}] = 92,44 + 20\log(36.984,6)[\text{Km}] + 20 \log(4) [\text{GHz}]$$

$$L_{pd} [\text{dB}] = 92,44 + 91,36 + 12,04$$

$$L_{pd} [\text{dB}] = 195,84$$

$$\text{PIREd} = \text{PIRE sat} + \text{BOo}$$

$$\text{PIREd} = 43,5 \text{ dB} - 47,14 \text{ dB}$$

$$\text{PIREd} = -3,64 \text{ dB}$$

$$\frac{C}{T} d \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = -3,64[\text{dBW}] - 195,84[\text{dB}] + 38,52 \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}} \right] - 3\text{dB} - 0,24$$

$$\frac{C}{T} d \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = -164,2$$

10.3 San Juan Bosco

$$L_p \text{ [dB]} = 92,44 + 20 \log(37.020,12) \text{ [Km]} + 20 \log(4) \text{ [GHz]}$$

$$L_p \text{ [dB]} = 92,44 + 91,37 + 12,04$$

$$L_p \text{ [dB]} = 195,85$$

$$\text{PIREd} = \text{PIRE sat} + \text{BOo}$$

$$\text{PIREd} = 43,5 \text{ dB} - 47,09 \text{ dB}$$

$$\text{PIREd} = -3,59 \text{ dB}$$

$$\frac{C}{T} d \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = -3,59 \text{ [dBW]} - 195,85 \text{ [dB]} + 38,52 \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}} \right] - 3 \text{ dB} - 0,24$$

$$\frac{C}{T} d \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = -164,16$$

10.4 Zumba

$$L_{pd} \text{ [dB]} = 92,44 + 20 \log(37.082,95) \text{ [Km]} + 20 \log(4) \text{ [GHz]}$$

$$L_{pd} \text{ [dB]} = 92,44 + 91,38 + 12,04$$

$$L_{pd} \text{ [dB]} = 195,86$$

$$\text{PIREd} = \text{PIRE sat} + \text{BOo}$$

$$\text{PIREd} = 43,5 \text{ dB} - 47,1 \text{ dB}$$

$$\text{PIREd} = -3,6 \text{ dB}$$

$$\frac{C}{T} d \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = -3,6 \text{ [dBW]} - 195,86 \text{ [dB]} + 38,52 \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}} \right] - 3 \text{ dB} - 0,24$$

$$\frac{C}{T} d \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = -164,18$$

10.5 Macará

$$L_{pd} [\text{dB}] = 92,44 + 20\log(37.183,3) [\text{Km}] + 20\log(4) [\text{GHz}]$$

$$L_{pd} [\text{dB}] = 92,44 + 91,4 + 12,04$$

$$L_{pd} [\text{dB}] = 195,88$$

$$\text{PIREd} = \text{PIRE sat} + \text{BOo}$$

$$\text{PIREd} = 43,5 \text{ dB} - 47,12 \text{ dB}$$

$$\text{PIREd} = -3,62 \text{ dB}$$

$$\frac{C}{T} d \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = -3,62 [\text{dBW}] - 195,88 [\text{dB}] + 38,52 \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}} \right] - 3 \text{ dB} - 0,24$$

$$\frac{C}{T} d \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = -164,22$$

10.6 Taisha

$$L_{pd} [\text{dB}] = 92,44 + 20\log(36.955,6) [\text{Km}] + 20\log(4) [\text{GHz}]$$

$$L_{pd} [\text{dB}] = 92,44 + 91,35 + 12,04$$

$$L_{pd} [\text{dB}] = 195,83$$

$$\text{PIREd} = \text{PIRE sat} + \text{BOo}$$

$$\text{PIREd} = 43,5 \text{ dB} - 47,08 \text{ dB}$$

$$\text{PIREd} = -3,58 \text{ dB}$$

$$\frac{C}{T} d \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = -3,58 [\text{dBW}] - 195,85 [\text{dB}] + 38,52 \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}} \right] - 3 \text{ dB} - 0,24$$

$$\frac{C}{T} d \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = -164,15$$

10.7 Lumbaqui

$$L_{pd} [\text{dB}] = 92,44 + 20\log(36.934,5) [\text{Km}] + 20\log(4) [\text{GHz}]$$

$$L_{pd} [\text{dB}] = 92,44 + 91,35 + 12,04$$

$$L_{pd} [\text{dB}] = 195,83$$

$$\text{PIREd} = \text{PIRE sat} + \text{BOo}$$

$$\text{PIREd} = 43,5 \text{ dB} - 44,42 \text{ dB}$$

$$\text{PIREd} = -0,92 \text{ dB}$$

$$\frac{C}{T} \text{d} \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = -0,92 [\text{dBW}] - 195,83 [\text{dB}] + 38,52 \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}} \right] - 3 \text{dB} - 0,24$$

$$\frac{C}{T} \text{d} \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = -161,47$$

10.8 Santa Rosa

$$L_{pd} [\text{dB}] = 92,44 + 20\log(37.969,9) [\text{Km}] + 20\log(4) [\text{GHz}]$$

$$L_{pd} [\text{dB}] = 92,44 + 91,6 + 12,04$$

$$L_{pd} [\text{dB}] = 196,08$$

$$\text{PIREd} = \text{PIRE sat} + \text{BOo}$$

$$\text{PIREd} = 43,5 \text{ dB} - 44,66 \text{ dB}$$

$$\text{PIREd} = -1,16 \text{ dB}$$

$$\frac{C}{T} \text{d} \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = -1,16 [\text{dBW}] - 196,08 [\text{dB}] + 38,52 \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}} \right] - 3 \text{dB} - 0,24$$

$$\frac{C}{T} \text{d} \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = -161,96$$

10.9 Río Verde

$$L_{pd} [\text{dB}] = 92,44 + 20\log(37.085,9) [\text{Km}] + 20\log(4) [\text{GHz}]$$

$$L_{pd} [\text{dB}] = 92,44 + 91,38 + 12,04$$

$$L_{pd} [\text{dB}] = 195,86$$

$$\text{PIREd} = \text{PIRE sat} + \text{BOo}$$

$$\text{PIREd} = 43,5 \text{ dB} - 47,1 \text{ dB}$$

$$\text{PIREd} = -3,6 \text{ dB}$$

$$\frac{C}{T} d \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = -3,6[\text{dBW}] - 195,86[\text{dB}] + 38,52 \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}} \right] - 3\text{dB} - 0,24$$

$$\frac{C}{T} d \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = -164,18$$

10.10 Punta Galera

$$L_{pd} [\text{dB}] = 92,44 + 20\log(37.123,4) [\text{Km}] + 20 \log(4) [\text{GHz}]$$

$$L_{pd} [\text{dB}] = 92,44 + 91,38 + 12,04$$

$$L_{pd} [\text{dB}] = 195,87$$

$$\text{PIREd} = \text{PIRE sat} + \text{BOo}$$

$$\text{PIREd} = 43,5 \text{ dB} - 47,11 \text{ dB}$$

$$\text{PIREd} = -3,59 \text{ dB}$$

$$\frac{C}{T} d \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = -3,59[\text{dBW}] - 195,87[\text{dB}] + 38,52 \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}} \right] - 3\text{dB} - 0,24$$

$$\frac{C}{T} d \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = -164,18$$

10.11 Lita

$$L_{pd} [\text{dB}] = 92,44 + 20\log(37.015,9) [\text{Km}] + 20 \log(4) [\text{GHz}]$$

$$L_{pd} [\text{dB}] = 92,44 + 91,37 + 12,04$$

$$L_{pd} [\text{dB}] = 195,84$$

$$\text{PIREd} = \text{PIRE sat} + \text{BOo}$$

$$\text{PIREd} = 43,5 \text{ dB} - 47,09 \text{ dB}$$

$$\text{PIREd} = -3,59 \text{ dB}$$

$$\frac{C}{T} d \left[\frac{\text{dBW}}{^\circ\text{K}} \right] = -3,59[\text{dBW}] - 195,84[\text{dB}] + 38,52 \left[\frac{\text{dB}}{^\circ\text{K}} \right] - 3\text{dB}$$

$$\frac{C}{T} d \left[\frac{\text{dBW}}{^\circ\text{K}} \right] = -164,15$$

10.12 Cabo Pasado

$$L_{pd} [\text{dB}] = 92,44 + 20\log(37.152,4) [\text{Km}] + 20 \log(4) [\text{GHz}]$$

$$L_{pd} [\text{dB}] = 92,44 + 91,39 + 12,04$$

$$L_{pd} [\text{dB}] = 195,88$$

$$\text{PIREd} = \text{PIRE sat} + \text{BOo}$$

$$\text{PIREd} = 43,5 \text{ dB} - 47,12 \text{ dB}$$

$$\text{PIREd} = -3,62 \text{ dB}$$

$$\frac{C}{T} d \left[\frac{\text{dBW}}{^\circ\text{K}} \right] = -3,62[\text{dBW}] - 195,88[\text{dB}] + 38,52 \left[\frac{\text{dB}}{^\circ\text{K}} \right] - 3\text{dB} - 0,24$$

$$\frac{C}{T} d \left[\frac{\text{dBW}}{^\circ\text{K}} \right] = -164,22$$

10.13 Isla Puná

$$L_{pd} [\text{dB}] = 92,44 + 20\log(37.150,9) [\text{Km}] + 20 \log(4) [\text{GHz}]$$

$$L_{pd} [\text{dB}] = 92,44 + 91,4 + 12,04$$

$$L_{pd} [\text{dB}] = 195,88$$

$$\text{PIREd} = \text{PIRE sat} + \text{BOo}$$

$$\text{PIREd} = 43,5 \text{ dB} - 47,12 \text{ dB}$$

$$\text{PIREd} = -3,62 \text{ dB}$$

$$\frac{C}{T} \text{d} \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = -3,62[\text{dBW}] - 195,88[\text{dB}] + 38,52 \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}} \right] - 3\text{dB} - 0,24$$

$$\frac{C}{T} \text{d} \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = -164,22$$

10.14 Macas

$$L_p \text{ [dB]} = 92,44 + 20\log(36.999,4)[\text{Km}] + 20 \log(4) \text{ [GHz]}$$

$$L_p \text{ [dB]} = 92,44 + 91,36 + 12,04$$

$$L_p \text{ [dB]} = 195,84$$

$$\text{PIREd} = \text{PIRE sat} + \text{BOo}$$

$$\text{PIREd} = 43,5 \text{ dB} - 47,12 \text{ dB}$$

$$\text{PIREd} = -3,62 \text{ dB}$$

$$\frac{C}{T} \text{d} \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = -3,62[\text{dBW}] - 195,84[\text{dB}] + 38,52 \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}} \right] - 3\text{dB} - 0,24$$

$$\frac{C}{T} \text{d} \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = -164,18$$

10.15 Sangay

$$L_{pd} \text{ [dB]} = 92,44 + 20\log(37.014,1)[\text{Km}] + 20 \log(4) \text{ [GHz]}$$

$$L_{pd} \text{ [dB]} = 92,44 + 91,37 + 12,04$$

$$L_{pd} \text{ [dB]} = 195,85$$

$$\text{PIREd} = \text{PIRE sat} + \text{BOo}$$

$$\text{PIREd} = 43,5 \text{ dB} - 47,08 \text{ dB}$$

$$\text{PIREd} = -3,58 \text{ dB}$$

$$\frac{C}{T} \text{d} \left[\frac{\text{dBW}}{^\circ\text{K}} \right] = -3,58[\text{dBW}] - 195,85[\text{dB}] + 38,52 \left[\frac{\text{dB}}{^\circ\text{K}} \right] - 3\text{dB} - 0,24$$

$$\frac{C}{T} \text{d} \left[\frac{\text{dBW}}{^\circ\text{K}} \right] = -164,15$$

10.16 OVT

$$\text{Lpd} [\text{dB}] = 92,44 + 20\log(37.020,8)[\text{Km}] + 20 \log(4) [\text{GHz}]$$

$$\text{Lpd} [\text{dB}] = 92,44 + 91,37 + 12,04$$

$$\text{Lpd} [\text{dB}] = 195,85$$

$$\text{PIREd} = \text{PIRE sat} + \text{B0o}$$

$$\text{PIREd} = 43,5 \text{ dB} - 44,44 \text{ dB}$$

$$\text{PIREd} = -0,94 \text{ dB}$$

$$\frac{C}{T} \text{d} \left[\frac{\text{dBW}}{^\circ\text{K}} \right] = -0,94[\text{dBW}] - 195,85[\text{dB}] + 38,52 \left[\frac{\text{dB}}{^\circ\text{K}} \right] - 3\text{dB} - 0,24$$

$$\frac{C}{T} \text{d} \left[\frac{\text{dBW}}{^\circ\text{K}} \right] = -159,68$$

10.17 Instituto Geofísico

$$\text{Lpd} [\text{dB}] = 92,44 + 20\log(37.014,4)[\text{Km}] + 20 \log(4) [\text{GHz}]$$

$$\text{Lpd} [\text{dB}] = 92,44 + 91,37 + 12,04$$

$$\text{Lpd} [\text{dB}] = 195,85$$

$$\text{PIREd} = \text{PIRE sat} + \text{B0o}$$

$$\text{PIREd} = 43,5 \text{ dB} - 44,44 \text{ dB}$$

$$\text{PIREd} = -0,94 \text{ dB}$$

$$\frac{C}{T}d \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = -0,94[\text{dBW}] - 195,85[\text{dB}] + 38,52 \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}} \right] - 3\text{dB} - 0,24$$

$$\frac{C}{T}d \left[\frac{\text{dBW}}{\text{°K}} \right] = -159,68$$

11. Cálculo de la relación C/T total por portadora

11.1 Puerto López

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}} \right)_{\text{tot}} = \left(\frac{1}{\frac{C}{T}_{\text{up}}} \right) + \left(\frac{1}{\frac{C}{T}_{\text{d}}} \right)$$

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}} \right)_{\text{tot}} = \left(\frac{1}{10^{(-165,25/10)}} \right) + \left(\frac{1}{10^{(-164,26/10)}} \right)$$

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}} \right)_{\text{tot}} = 3,38 \times 10^{16} + 2,69 \times 10^{16}$$

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}} \right)_{\text{tot}} = 6,07 \times 10^{16}$$

$$\left(\frac{C}{T} \right)_{\text{tot}} = 1,65 \times 10^{-17}$$

$$\left(\frac{C}{T} \right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}} \right] = 10 \log (1,65 \times 10^{-17})$$

$$\left(\frac{C}{T} \right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}} \right] = -167,9$$

11.2 Ana Tenorio

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}} \right)_{\text{tot}} = \left(\frac{1}{\frac{C}{T}_{\text{up}}} \right) + \left(\frac{1}{\frac{C}{T}_{\text{d}}} \right)$$

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}}\right)_{\text{tot}} = \left(\frac{1}{10^{(-165,19/10)}}\right) + \left(\frac{1}{10^{(-164,2/10)}}\right)$$

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}}\right)_{\text{tot}} = 3,31 \times 10^{16} + 2,63 \times 10^{16}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} = 1,68 \times 10^{-17}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{^{\circ}\text{K}}\right] = 10 \log (1,68 \times 10^{-17})$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{^{\circ}\text{K}}\right] = -167,7$$

11.3 San Juan Bosco

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}}\right)_{\text{tot}} = \left(\frac{1}{\frac{C}{T}_{\text{up}}}\right) + \left(\frac{1}{\frac{C}{T}_{\text{d}}}\right)$$

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}}\right)_{\text{tot}} = \left(\frac{1}{10^{(-165,2/10)}}\right) + \left(\frac{1}{10^{(-164,16/10)}}\right)$$

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}}\right)_{\text{tot}} = 3,31 \times 10^{16} + 2,63 \times 10^{16}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} = 1,68 \times 10^{-17}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{^{\circ}\text{K}}\right] = 10 \log (1,68 \times 10^{-17})$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{^{\circ}\text{K}}\right] = -167,7$$

11.4 Zumba

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}}\right)_{\text{tot}} = \left(\frac{1}{\frac{C}{T}_{\text{up}}}\right) + \left(\frac{1}{\frac{C}{T}_{\text{d}}}\right)$$

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}}\right)_{\text{tot}} = \left(\frac{1}{10^{(-165,21/10)}}\right) + \left(\frac{1}{10^{(-164,18/10)}}\right)$$

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}}\right)_{\text{tot}} = 3,31 \times 10^{16} + 2,63 \times 10^{16}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} = 1,68 \times 10^{-17}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}}\right] = 10 \log (1,68 \times 10^{-17})$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}}\right] = -167,7$$

11.5 Macará

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}}\right)_{\text{tot}} = \left(\frac{1}{\frac{C}{T}_{\text{up}}}\right) + \left(\frac{1}{\frac{C}{T}_{\text{d}}}\right)$$

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}}\right)_{\text{tot}} = \left(\frac{1}{10^{(-165,23/10)}}\right) + \left(\frac{1}{10^{(-164,22/10)}}\right)$$

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}}\right)_{\text{tot}} = 3,31 \times 10^{16} + 2,63 \times 10^{16}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} = 1,68 \times 10^{-17}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}}\right] = 10 \log (1,68 \times 10^{-17})$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{^{\circ}\text{K}}\right] = -167,7$$

11.6 Taisha

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}}\right)_{\text{tot}} = \left(\frac{1}{\frac{C}{T}_{\text{up}}}\right) + \left(\frac{1}{\frac{C}{T}_{\text{d}}}\right)$$

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}}\right)_{\text{tot}} = \left(\frac{1}{10^{(-165,19/10)}}\right) + \left(\frac{1}{10^{(-164,15/10)}}\right)$$

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}}\right)_{\text{tot}} = 3,31 \times 10^{16} + 2,63 \times 10^{16}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} = 1,68 \times 10^{-17}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{^{\circ}\text{K}}\right] = 10 \log (1,68 \times 10^{-17})$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{^{\circ}\text{K}}\right] = -167,7$$

11.7 Lumbaqui

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}}\right)_{\text{tot}} = \left(\frac{1}{\frac{C}{T}_{\text{up}}}\right) + \left(\frac{1}{\frac{C}{T}_{\text{d}}}\right)$$

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}}\right)_{\text{tot}} = \left(\frac{1}{10^{(-162,54/10)}}\right) + \left(\frac{1}{10^{(-161,47/10)}}\right)$$

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}}\right)_{\text{tot}} = 1,78 \times 10^{16} + 1,42 \times 10^{16}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} = 3,1 \times 10^{-17}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{^{\circ}\text{K}}\right] = 10\log(3,1 \times 10^{-17})$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{^{\circ}\text{K}}\right] = -165$$

11.8 Santa Rosa

$$\left(\frac{1}{C}\right)_{\text{tot}} = \left(\frac{1}{C_{\text{T up}}}\right) + \left(\frac{1}{C_{\text{T d}}}\right)$$

$$\left(\frac{1}{C}\right)_{\text{tot}} = \left(\frac{1}{10^{(-162,78/10)}}\right) + \left(\frac{1}{10^{(-161,96/10)}}\right)$$

$$\left(\frac{1}{C}\right)_{\text{tot}} = 1,9 \times 10^{16} + 1,6 \times 10^{16}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} = 2,86 \times 10^{-17}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{^{\circ}\text{K}}\right] = 10\log(2,86 \times 10^{-17})$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{^{\circ}\text{K}}\right] = -165,4$$

11.9 Río Verde

$$\left(\frac{1}{C}\right)_{\text{tot}} = \left(\frac{1}{C_{\text{T up}}}\right) + \left(\frac{1}{C_{\text{T d}}}\right)$$

$$\left(\frac{1}{C}\right)_{\text{tot}} = \left(\frac{1}{10^{(-165,21/10)}}\right) + \left(\frac{1}{10^{(-164,18/10)}}\right)$$

$$\left(\frac{1}{C}\right)_{\text{tot}} = 3,31 \times 10^{16} + 2,63 \times 10^{16}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} = 1,68 \times 10^{-17}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{^{\circ}\text{K}}\right] = 10 \log (1,68 \times 10^{-17})$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{^{\circ}\text{K}}\right] = -167,7$$

11.10 Punta Galera

$$\left(\frac{1}{C}\right)_{\text{tot}} = \left(\frac{1}{C_{\text{T up}}}\right) + \left(\frac{1}{C_{\text{T d}}}\right)$$

$$\left(\frac{1}{C}\right)_{\text{tot}} = \left(\frac{1}{10^{(-165,22/10)}}\right) + \left(\frac{1}{10^{(-164,18/10)}}\right)$$

$$\left(\frac{1}{C}\right)_{\text{tot}} = 3,31 \times 10^{16} + 2,63 \times 10^{16}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} = 1,68 \times 10^{-17}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{^{\circ}\text{K}}\right] = 10 \log (1,68 \times 10^{-17})$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{^{\circ}\text{K}}\right] = -167,7$$

11.11 Lita

$$\left(\frac{1}{C}\right)_{\text{tot}} = \left(\frac{1}{C_{\text{T up}}}\right) + \left(\frac{1}{C_{\text{T d}}}\right)$$

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}}\right)_{\text{tot}} = \left(\frac{1}{10^{(-165,2/10)}}\right) + \left(\frac{1}{10^{(-164,15/10)}}\right)$$

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}}\right)_{\text{tot}} = 3,31 \times 10^{16} + 2,63 \times 10^{16}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} = 1,68 \times 10^{-17}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{^{\circ}\text{K}}\right] = 10 \log (1,68 \times 10^{-17})$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{^{\circ}\text{K}}\right] = -167,7$$

11.12 Cabo Pasado

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}}\right)_{\text{tot}} = \left(\frac{1}{\frac{C}{T}_{\text{up}}}\right) + \left(\frac{1}{\frac{C}{T}_{\text{d}}}\right)$$

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}}\right)_{\text{tot}} = \left(\frac{1}{10^{(-165,24/10)}}\right) + \left(\frac{1}{10^{(-164,22/10)}}\right)$$

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}}\right)_{\text{tot}} = 3,31 \times 10^{16} + 2,63 \times 10^{16}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} = 1,68 \times 10^{-17}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{^{\circ}\text{K}}\right] = 10 \log (1,68 \times 10^{-17})$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{^{\circ}\text{K}}\right] = -167,7$$

11.13 Isla Puná

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}}\right)_{\text{tot}} = \left(\frac{1}{\frac{C}{T}_{\text{up}}}\right) + \left(\frac{1}{\frac{C}{T}_{\text{d}}}\right)$$

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}}\right)_{\text{tot}} = \left(\frac{1}{10^{(-165,24/10)}}\right) + \left(\frac{1}{10^{(-164,22/10)}}\right)$$

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}}\right)_{\text{tot}} = 3,31 \times 10^{16} + 2,63 \times 10^{16}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} = 1,68 \times 10^{-17}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}}\right] = 10 \log (1,68 \times 10^{-17})$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}}\right] = -167,7$$

11.14 Macas

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}}\right)_{\text{tot}} = \left(\frac{1}{\frac{C}{T}_{\text{up}}}\right) + \left(\frac{1}{\frac{C}{T}_{\text{d}}}\right)$$

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}}\right)_{\text{tot}} = \left(\frac{1}{10^{(-165,24/10)}}\right) + \left(\frac{1}{10^{(-164,18/10)}}\right)$$

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}}\right)_{\text{tot}} = 3,31 \times 10^{16} + 2,63 \times 10^{16}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} = 1,68 \times 10^{-17}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}}\right] = 10 \log (1,68 \times 10^{-17})$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}}\right] = -167,7$$

11.15 Sangay

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}}\right)_{\text{tot}} = \left(\frac{1}{\frac{C}{T}_{\text{up}}}\right) + \left(\frac{1}{\frac{C}{T}_{\text{d}}}\right)$$

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}}\right)_{\text{tot}} = \left(\frac{1}{10^{(-165,19/10)}}\right) + \left(\frac{1}{10^{(-164,15/10)}}\right)$$

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}}\right)_{\text{tot}} = 3,31 \times 10^{16} + 2,63 \times 10^{16}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} = 1,68 \times 10^{-17}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}}\right] = 10 \log (1,68 \times 10^{-17})$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}}\right] = -167,7$$

11.16 OVT

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}}\right)_{\text{tot}} = \left(\frac{1}{\frac{C}{T}_{\text{up}}}\right) + \left(\frac{1}{\frac{C}{T}_{\text{d}}}\right)$$

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}}\right)_{\text{tot}} = \left(\frac{1}{10^{(-162,56/10)}}\right) + \left(\frac{1}{10^{(-159,68/10)}}\right)$$

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}}\right)_{\text{tot}} = 1,82 \times 10^{16} + 0,93 \times 10^{16}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} = 3,63 \times 10^{-17}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}}\right] = 10 \log (3,63 \times 10^{-17})$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}}\right] = -164,4$$

11.17 IG

$$\left(\frac{1}{C}\right)_{\text{tot}} = \left(\frac{1}{C_{\text{T up}}}\right) + \left(\frac{1}{C_{\text{T d}}}\right)$$

$$\left(\frac{1}{C}\right)_{\text{tot}} = \left(\frac{1}{10^{(-162,56/10)}}\right) + \left(\frac{1}{10^{(-159,68/10)}}\right)$$

$$\left(\frac{1}{C}\right)_{\text{tot}} = 1,82 \times 10^{16} + 0,93 \times 10^{16}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} = 3,63 \times 10^{-17}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}}\right] = 10 \log (3,63 \times 10^{-17})$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}}\right] = -164,4$$

12. Cálculo de la relación C/N por portadora

12.1 Puerto López

$$\frac{C}{N} [\text{dB}] = \left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}}\right] - 10 \log \text{BW} [\text{dB}] - k [\text{dBW}/\text{°K}/\text{Hz}]$$

$$\text{BW} [\text{dB}] = 10 \log(\text{BW})$$

$$\text{BW} [\text{dB} - \text{Hz}] = 10 \log(112000)$$

$$BW [dB - Hz] = 50,49$$

$$\frac{C}{N} [dB] = -167,9 - 50,49 + 228,6$$

$$\frac{C}{N} [dB] = 10,21$$

12.2 Ana Tenorio

$$\frac{C}{N} [dB] = \left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{dB}{^{\circ}K}\right] - 10\log BW [dB] - k [dBW/^{\circ}K/Hz]$$

$$BW [dB] = 10 \log(BW)$$

$$BW [dB - Hz] = 10 \log(112000)$$

$$BW [dB - Hz] = 50,49$$

$$\frac{C}{N} [dB] = -167,7 - 50,49 + 228,6$$

$$\frac{C}{N} [dB] = 10,41$$

12.3 San Juan Bosco

$$\frac{C}{N} [dB] = \left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{dB}{^{\circ}K}\right] - 10\log BW [dB] - k [dBW/^{\circ}K/Hz]$$

$$BW [dB] = 10 \log(BW)$$

$$BW [dB - Hz] = 10 \log(56820)$$

$$BW [dB - Hz] = 47,55$$

$$\frac{C}{N} [dB] = -167,7 - 47,55 + 228,6$$

$$\frac{C}{N} [dB] = 13,25$$

12.4 Zumba

$$\frac{C}{N} [\text{dB}] = \left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{^{\circ}\text{K}}\right] - 10\log\text{BW}[\text{dB}] - k[\text{dBW}/^{\circ}\text{K}/\text{Hz}]$$

$$\text{BW} [\text{dB}] = 10 \log(\text{BW})$$

$$\text{BW} [\text{dB} - \text{Hz}] = 10 \log(135340)$$

$$\text{BW} [\text{dB} - \text{Hz}] = 51,31$$

$$\frac{C}{N} [\text{dB}] = -167,7 - 51,31 + 228,6$$

$$\frac{C}{N} [\text{dB}] = 9,58$$

12.5 Macará

$$\frac{C}{N} [\text{dB}] = \left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{^{\circ}\text{K}}\right] - 10\log\text{BW}[\text{dB}] - k[\text{dBW}/^{\circ}\text{K}/\text{Hz}]$$

$$\text{BW} [\text{dB}] = 10 \log(\text{BW})$$

$$\text{BW} [\text{dB} - \text{Hz}] = 10 \log(135340)$$

$$\text{BW} [\text{dB} - \text{Hz}] = 51,31$$

$$\frac{C}{N} [\text{dB}] = -167,7 - 51,31 + 228,6$$

$$\frac{C}{N} [\text{dB}] = 9,58$$

12.6 Taisha

$$\frac{C}{N} [\text{dB}] = \left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{^{\circ}\text{K}}\right] - 10\log\text{BW}[\text{dB}] - k[\text{dBW}/^{\circ}\text{K}/\text{Hz}]$$

$$\text{BW} [\text{dB}] = 10 \log(\text{BW})$$

$$\text{BW} [\text{dB} - \text{Hz}] = 10 \log(135340)$$

$$\text{BW} [\text{dB} - \text{Hz}] = 51,31$$

$$\frac{C}{N}[\text{dB}] = -167,7 - 51,31 + 228,6$$

$$\frac{C}{N}[\text{dB}] = 9,58$$

12.7 Lumbaqui

$$\frac{C}{N}[\text{dB}] = \left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{^{\circ}\text{K}}\right] - 10\log\text{BW}[\text{dB}] - k[\text{dBW}/^{\circ}\text{K}/\text{Hz}]$$

$$\text{BW}[\text{dB}] = 10 \log(\text{BW})$$

$$\text{BW}[\text{dB} - \text{Hz}] = 10 \log(538530)$$

$$\text{BW}[\text{dB} - \text{Hz}] = 57,31$$

$$\frac{C}{N}[\text{dB}] = -165 - 57,31 + 228,6$$

$$\frac{C}{N}[\text{dB}] = 6,29$$

12.8 Santa Rosa

$$\frac{C}{N}[\text{dB}] = \left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{^{\circ}\text{K}}\right] - 10\log\text{BW}[\text{dB}] - k[\text{dBW}/^{\circ}\text{K}/\text{Hz}]$$

$$\text{BW}[\text{dB}] = 10 \log(\text{BW})$$

$$\text{BW}[\text{dB} - \text{Hz}] = 10 \log(572620)$$

$$\text{BW}[\text{dB} - \text{Hz}] = 57,6$$

$$\frac{C}{N}[\text{dB}] = -165,4 - 57,6 + 228,6$$

$$\frac{C}{N}[\text{dB}] = 5,6$$

12.9 Río Verde

$$\frac{C}{N} [\text{dB}] = \left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}}\right] - 10 \log \text{BW} [\text{dB}] - k [\text{dBW}/\text{°K}/\text{Hz}]$$

$$\text{BW} [\text{dB}] = 10 \log(\text{BW})$$

$$\text{BW} [\text{dB} - \text{Hz}] = 10 \log(135340)$$

$$\text{BW} [\text{dB} - \text{Hz}] = 51,31$$

$$\frac{C}{N} [\text{dB}] = -167,7 - 51,31 + 228,6$$

$$\frac{C}{N} [\text{dB}] = 9,58$$

12.10 Punta Galera

$$\frac{C}{N} [\text{dB}] = \left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}}\right] - 10 \log \text{BW} [\text{dB}] - k [\text{dBW}/\text{°K}/\text{Hz}]$$

$$\text{BW} [\text{dB}] = 10 \log(\text{BW})$$

$$\text{BW} [\text{dB} - \text{Hz}] = 10 \log(135340)$$

$$\text{BW} [\text{dB} - \text{Hz}] = 51,31$$

$$\frac{C}{N} [\text{dB}] = -167,7 - 51,31 + 228,6$$

$$\frac{C}{N} [\text{dB}] = 9,58$$

12.11 Lita

$$\frac{C}{N} [\text{dB}] = \left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}}\right] - 10 \log \text{BW} [\text{dB}] - k [\text{dBW}/\text{°K}/\text{Hz}]$$

$$\text{BW} [\text{dB}] = 10 \log(\text{BW})$$

$$\text{BW} [\text{dB} - \text{Hz}] = 10 \log(59620)$$

$$\text{BW} [\text{dB} - \text{Hz}] = 47,8$$

$$\frac{C}{N}[\text{dB}] = -167,7 - 47,8 + 228,6$$

$$\frac{C}{N}[\text{dB}] = 13,15$$

12.12 Cabo Pasado

$$\frac{C}{N}[\text{dB}] = \left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{^{\circ}\text{K}}\right] - 10\log\text{BW}[\text{dB}] - k[\text{dBW}/^{\circ}\text{K}/\text{Hz}]$$

$$\text{BW}[\text{dB}] = 10 \log(\text{BW})$$

$$\text{BW}[\text{dB} - \text{Hz}] = 10 \log(135340)$$

$$\text{BW}[\text{dB} - \text{Hz}] = 51,31$$

$$\frac{C}{N}[\text{dB}] = -167,7 - 51,31 + 228,6$$

$$\frac{C}{N}[\text{dB}] = 9,58$$

12.13 Isla Puná

$$\frac{C}{N}[\text{dB}] = \left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{^{\circ}\text{K}}\right] - 10\log\text{BW}[\text{dB}] - k[\text{dBW}/^{\circ}\text{K}/\text{Hz}]$$

$$\text{BW}[\text{dB}] = 10 \log(\text{BW})$$

$$\text{BW}[\text{dB} - \text{Hz}] = 10 \log(112000)$$

$$\text{BW}[\text{dB} - \text{Hz}] = 50,49$$

$$\frac{C}{N}[\text{dB}] = -167,7 - 50,49 + 228,6$$

$$\frac{C}{N}[\text{dB}] = 10,41$$

12.14 Macas

$$\frac{C}{N} [\text{dB}] = \left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}}\right] - 10\log\text{BW}[\text{dB}] - k[\text{dBW/°K/Hz}]$$

$$\text{BW} [\text{dB}] = 10 \log(\text{BW})$$

$$\text{BW} [\text{dB} - \text{Hz}] = 10 \log(56820)$$

$$\text{BW} [\text{dB} - \text{Hz}] = 47,55$$

$$\frac{C}{N} [\text{dB}] = -167,7 - 47,55 + 228,6$$

$$\frac{C}{N} [\text{dB}] = 13,25$$

12.15 Sangay

$$\frac{C}{N} [\text{dB}] = \left(\frac{C}{T}\right)_{\text{tot}} \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}}\right] - 10\log\text{BW}[\text{dB}] - k[\text{dBW/°K/Hz}]$$

$$\text{BW} [\text{dB}] = 10 \log(\text{BW})$$

$$\text{BW} [\text{dB} - \text{Hz}] = 10 \log(115620)$$

$$\text{BW} [\text{dB} - \text{Hz}] = 50,63$$

$$\frac{C}{N} [\text{dB}] = -167,7 - 50,63 + 228,6$$

$$\frac{C}{N} [\text{dB}] = 10,26$$

13. Cálculo de las relación C/No para los enlaces de subida y bajada por cada portadora

13.1 Puerto López

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_u = \text{PIRE}[\text{dBW}] + L_{pu}[\text{dB}] + L_u[\text{dB}] + \left(\frac{G}{T}\right)_s \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}}\right] - k[\text{dBW/°K/Hz}]$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_u = 46,25 - 199,4 - 1,95 - 7,1 + 228,6$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_u = 66,4 \text{ dB}$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_d = \text{PIRE}[\text{dBW}] + L_{pd}[\text{dB}] + L_d[\text{dB}] + \left(\frac{G}{T}\right)_{e.t} \left[\frac{\text{dB}}{^\circ\text{K}}\right] - k[\text{dBW}/^\circ\text{K}/\text{Hz}]$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_d = -3,56 - 195,9 - 0,24 + 38,52 + 228,6$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_d = 67,42 \text{ dB}$$

13.2 Ana Tenorio

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_u = 46,25 - 199,46 - 1,95 - 7,1 + 228,6$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_u = 66,34 \text{ dB}$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_d = -3,56 - 195,84 - 0,24 + 38,52 + 228,6$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_d = 67,48 \text{ dB}$$

13.3 San Juan Bosco

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_u = 46,25 - 199,41 - 1,95 - 7,1 + 228,6$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_u = 66,39 \text{ dB}$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_d = -3,56 - 195,85 - 0,24 + 38,52 + 228,6$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_d = 67,47 \text{ dB}$$

13.4 Zumba

$$\left(\frac{C}{No}\right)_u = 46,25 - 199,42 - 1,95 - 7,1 + 228,6$$

$$\left(\frac{C}{No}\right)_u = 66,38 \text{ dB}$$

$$\left(\frac{C}{No}\right)_d = -3,56 - 195,86 - 0,24 + 38,52 + 228,6$$

$$\left(\frac{C}{No}\right)_d = 67,46 \text{ dB}$$

13.5 Macará

$$\left(\frac{C}{No}\right)_u = 46,25 - 199,44 - 1,95 - 7,1 + 228,6$$

$$\left(\frac{C}{No}\right)_u = 66,36 \text{ dB}$$

$$\left(\frac{C}{No}\right)_d = -3,56 - 195,88 - 0,24 + 38,52 + 228,6$$

$$\left(\frac{C}{No}\right)_d = 67,44 \text{ dB}$$

13.6 Taisha

$$\left(\frac{C}{No}\right)_u = 46,25 - 199,40 - 1,95 - 7,1 + 228,6$$

$$\left(\frac{C}{No}\right)_u = 66,4 \text{ dB}$$

$$\left(\frac{C}{No}\right)_d = -3,56 - 195,83 - 0,24 + 38,52 + 228,6$$

$$\left(\frac{C}{No}\right)_d = 67,49 \text{ dB}$$

13.7 Lumbaqui

$$\left(\frac{C}{No}\right)_u = 48,9 - 199,39 - 1,95 - 7,1 + 228,6$$

$$\left(\frac{C}{No}\right)_u = 69,09 \text{ dB}$$

$$\left(\frac{C}{No}\right)_d = -0,96 - 195,83 - 0,24 + 38,52 + 228,6$$

$$\left(\frac{C}{No}\right)_d = 70 \text{ dB}$$

13.8 Santa Rosa

$$\left(\frac{C}{No}\right)_u = 48,9 - 199,63 - 1,95 - 7,1 + 228,6$$

$$\left(\frac{C}{No}\right)_u = 68,8 \text{ dB}$$

$$\left(\frac{C}{No}\right)_d = -1,16 - 196,08 - 0,24 + 38,52 + 228,6$$

$$\left(\frac{C}{No}\right)_d = 69,64 \text{ dB}$$

13.9 Río Verde

$$\left(\frac{C}{No}\right)_u = 46,25 - 199,42 - 1,95 - 7,1 + 228,6$$

$$\left(\frac{C}{No}\right)_u = 66,38 \text{ dB}$$

$$\left(\frac{C}{No}\right)_d = -3,56 - 195,86 - 0,24 + 38,52 + 228,6$$

$$\left(\frac{C}{No}\right)_d = 67,46 \text{ dB}$$

13.10 Punta Galera

$$\left(\frac{C}{No}\right)_u = 46,25 - 199,42 - 1,95 - 7,1 + 228,6$$

$$\left(\frac{C}{No}\right)_u = 66,38 \text{ dB}$$

$$\left(\frac{C}{No}\right)_d = -3,56 - 195,86 - 0,24 + 38,52 + 228,6$$

$$\left(\frac{C}{No}\right)_d = 67,44 \text{ dB}$$

13.11 Lita

$$\left(\frac{C}{No}\right)_u = 46,25 - 199,41 - 1,95 - 7,1 + 228,6$$

$$\left(\frac{C}{No}\right)_u = 66,39 \text{ dB}$$

$$\left(\frac{C}{No}\right)_d = -3,56 - 195,84 - 0,24 + 38,52 + 228,6$$

$$\left(\frac{C}{No}\right)_d = 67,48 \text{ dB}$$

13.12 Cabo Pasado

$$\left(\frac{C}{No}\right)_u = 46,25 - 199,44 - 1,95 - 7,1 + 228,6$$

$$\left(\frac{C}{No}\right)_u = 66,36 \text{ dB}$$

$$\left(\frac{C}{No}\right)_d = -3,56 - 195,88 - 0,24 + 38,52 + 228,6$$

$$\left(\frac{C}{No}\right)_d = 67,44 \text{ dB}$$

13.13 Isla Puná

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_u = 46,25 - 199,44 - 1,95 - 7,1 + 228,6$$

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_u = 66,36 \text{ dB}$$

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_d = -3,56 - 195,88 - 0,24 + 38,52 + 228,6$$

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_d = 67,44 \text{ dB}$$

13.14 Macas

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_u = 46,25 - 199,44 - 1,95 - 7,1 + 228,6$$

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_u = 66,36 \text{ dB}$$

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_d = -3,56 - 195,84 - 0,24 + 38,52 + 228,6$$

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_d = 67,48 \text{ dB}$$

13.15 Sangay

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_u = 46,25 - 199,4 - 1,95 - 7,1 + 228,6$$

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_u = 66,4 \text{ dB}$$

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_d = -3,56 - 195,85 - 0,24 + 38,52 + 228,6$$

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_d = 67,47 \text{ dB}$$

13.16 OVT

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_u = 48,9 - 199,41 - 1,95 - 7,1 + 228,6$$

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_u = 69,04 \text{ dB}$$

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_d = -0,94 - 195,85 - 0,24 + 38,52 + 228,6$$

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_d = 70,09 \text{ dB}$$

13.17 Instituto Geofísico

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_u = 48,9 - 199,41 - 1,95 - 7,1 + 228,6$$

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_u = 69,04 \text{ dB}$$

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_d = -0,94 - 195,85 - 0,24 + 38,52 + 228,6$$

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_d = 70,09 \text{ dB}$$

14. Cálculo de la relación Eb/No cada portadora

14.1 Puerto López

$$(E_b/N_0)_u = (C/N_0)_u - 10 \log(V_{tx})$$

$$(E_b/N_0)_u = 66,4 - 10 \log(120000)$$

$$(E_b/N_0)_u = 15,61 \text{ dB}$$

14.2 Ana Tenorio

$$(E_b/N_0)_u = 66,34 - 10 \log(120000)$$

$$(E_b/N_0)_u = 15,60 \text{ dB}$$

14.3 San Juan Bosco

$$(Eb/No)_u = 66,39 - 10 \log(60880)$$

$$(Eb/No)_u = 18,54 \text{ dB}$$

14.4 Zumba

$$(Eb/No)_u = 66,38 - 10 \log(145000)$$

$$(Eb/No)_u = 14,5 \text{ dB}$$

14.5 Macará

$$(Eb/No)_u = 66,36 - 10 \log(145000)$$

$$(Eb/No)_u = 14,7 \text{ dB}$$

14.6 Taisha

$$(Eb/No)_u = 66,4 - 10 \log(145000)$$

$$(Eb/No)_u = 14,8 \text{ dB}$$

14.7 Lumbaqui

$$(Eb/No)_u = 66,41 - 10 \log(577000)$$

$$(Eb/No)_u = 8,8 \text{ dB}$$

14.8 Santa Rosa

$$(Eb/No)_u = 66,17 - 10 \log(613520)$$

$$(Eb/No)_u = 8,3 \text{ dB}$$

14.9 Río Verde

$$(Eb/No)_u = 66,38 - 10 \log(145000)$$

$$(Eb/No)_u = 14,8 \text{ dB}$$

14.10 Punta Galera

$$(Eb/No)_u = 66,38 - 10 \log(145000)$$

$$(Eb/No)_u = 14,8 \text{ dB}$$

14.11 Lita

$$(Eb/No)_u = 66,39 - 10 \log(63880)$$

$$(Eb/No)_u = 18,3 \text{ dB}$$

14.12 Cabo Pasado

$$(Eb/No)_u = 66,36 - 10 \log(145000)$$

$$(Eb/No)_u = 14,7 \text{ dB}$$

14.13 Isla Puná

$$(Eb/No)_u = 66,36 - 10 \log(120000)$$

$$(Eb/No)_u = 15,6 \text{ dB}$$

14.14 Macas

$$(Eb/No)_u = 66,36 - 10 \log(60880)$$

$$(Eb/No)_u = 18,5 \text{ dB}$$

14.15 Sangay

$$(Eb/No)_u = 66,4 - 10 \log(123880)$$

$$(Eb/No)_u = 15,5 \text{ dB}$$

14.16 OVT

$$(Eb/No)_u = 69,04 - 10 \log(128000)$$

$$(Eb/No)_u = 17,96 \text{ dB}$$

14.17 IG

$$(E_b/N_0)_u = 69,04 - 10 \log(128000)$$

$$(E_b/N_0)_u = 17,96 \text{ dB}$$

RED VSAT IG

Nodo	Función	Observaciones
Salinas	Estación sísmica/ Repetidora	Parcial
Puerto López	Estación sísmica	Terminal
Ana Tenorio	Estación sísmica/ Acelerógrafo	Terminal
San Juan Bosco	Estación sísmica	Terminal
Zumba	Estación sísmica	Terminal
Macará	Estación sísmica/ Acelerógrafo	Terminal
Taisha	Estación sísmica	Terminal
Lumbaqui	Concentrador	Parcial
Santa Rosa	Concentrador	Parcial
Río Verde	Estación multiparamétrica	Terminal
Punta Galera	Estación multiparamétrica	Terminal
Lita	Estación sísmica/ Infrasonido	Terminal
Cabo Pasado	Estación multiparamétrica	Terminal
Isla Puná	Estación sísmica/ GPS	Terminal
Macas	Estación sísmica	Terminal
Sangay	Estación sísmica/ Infrasonido	Terminal
OVT	Recepción de respaldo	Global
IG	Recepción principal	Global

Infraestructura terminal	13
Infraestructura Global	2
Infraestructura Parcial	3

TASA DE DESCUENTO DE PROYECTOS DE TELECOMUNICACIONES

Participación Trabajadores	15%
Impuesto a la renta	25%
Tasa de Descuento Tele	20%
%E Porcentaje de Capital	70%
%D Porcentaje de Deuda	30%
rf Tasa libre de riesgo	5%
B índice de Sensibilidad	1,20
m Market Premium	15%
c Tasa de Riesgo País	7,95%
l tasa de Interés de la Deuda	16%
T escudos Fiscales	36,25%

24,73%

COSTOS GLOBALES CAPEX

COSTO FOB	DESCUENTO	INTERNACION	COSTO LOCAL	CANTIDAD	COSTO TOTAL
-----------	-----------	-------------	-------------	----------	-------------

INFRAESTRUCTURA PARA TRANSMISIÓN VSAT

INFRAESTRUCTURA PARA EL IG

Antena Prodelin serie 1251, 2.4 metros, Banda C	\$1.950,00	0,0%	0,0%	\$1.950,00	1	\$1.950,00
Módem iDirect x3 evolution	\$1.350,00	0,0%	0,0%	\$1.350,00	1	\$1.350,00
Router Juniper modelo SRX210	\$1.100,00	0,0%	0,0%	\$1.100,00	1	\$1.100,00
BUC JRC, modelo NJT5669	\$655,00	0,0%	0,0%	\$655,00	1	\$655,00
LNB Norsat, modelo 3120	\$230,00	0,0%	0,0%	\$230,00	1	\$230,00
Cables y conectores	\$40,00	0,0%	0,0%	\$40,00	1	\$40,00
Servidor DELL						
PowerEdge T20+licencia de software iSite	\$1.979,00	0,0%	0,0%	\$1.979,00	1	\$1.979,00
Pantallas para visualización de datos	\$700,00	0,0%	0,0%	\$0,00	1	\$700,00

INFRAESTRUCTURA PARA EL OVT

Antena Prodelin serie 1251, 2.4 metros, Banda C	\$1.950,00	0,0%	0,0%	\$1.950,00	1	\$1.950,00
Módem iDirect x3 evolution	\$1.350,00	0,0%	0,0%	\$1.350,00	1	\$1.350,00
Router Juniper modelo SRX210	\$1.100,00		0,0%	\$1.100,00	1	\$1.100,00
BUC JRC, modelo NJT5669	\$655,00	0,0%	0,0%	\$655,00	1	\$655,00
LNB Norsat, modelo 3120	\$230,00	0,0%	0,0%	\$230,00	1	\$230,00
Cables y conectores	\$40,00	0,0%	0,0%	\$40,00	1	\$40,00
Terminal DELL Inspiron One 20 para visualización de datos + licencia software iSite	\$1.790,00	0,0%	0,0%	\$1.790,00	1	\$1.790,00

REPUESTOS

REPUESTOS PARA RED DE TRANSMISIÓN VSAT

Módem iDirect x3 evolution	\$1.350,00	0,0%	50,0%	\$1.350,00	2,00	\$2.700,00
Router Juniper modelo SRX210	\$1.100,00	0,0%	50,0%	\$1.100,00	2,00	\$2.200,00
BUC JRC, modelo NJT5669	\$655,00	0,0%	50,0%	\$655,00	2,00	\$1.310,00
LNB Norsat, modelo 3120	\$230,00	0,0%	50,0%	\$230,00	2,00	\$460,00
Cables y conectores	\$40,00	0,0%	50,0%	\$40,00	2,00	\$80,00

SUBTOTAL CAPEX

\$21.869,00

COSTOS GLOBALES EVENTUALES

Adquisición de Datos

Instalacion de equipos en OVT e IG

COSTO FOB	DESCUENTO	INTERNACION	COSTO LOCAL	CANTIDAD	COSTO TOTAL
			\$140,00	1	\$140,00

Capacitacion de personal

Capacitacion Local

			\$3.500,00	1	\$3.500,00
--	--	--	------------	---	------------

SUBTOTAL GASTOS EVENTUALES

\$ 3.640,00

COSTOS GLOBALES RECURRENTE

Mantenimiento preventivo IG y OVT

Pago anual por servicio al proveedor

			\$70,00	1	\$70,00
			\$3.000,00	1	\$3.000,00

SUBTOTAL GASTOS RECURRENTE

\$ 3.070,00

COSTOS PARCIALES CAPEX

COSTO FOB	DESCUENTO	INTERNACION	COSTO LOCAL	CANTIDAD	COSTO TOTAL
------------------	------------------	--------------------	--------------------	-----------------	--------------------

INFRAESTRUCTURA PARA REPETIDORAS

INFRAESTRUCTURA PARA EL NODO DE SALINAS

Antena Prodelin serie 1251, 1.8 metros, Banda C	\$855,00	0,0%	0,0%	\$855,00	1	\$855,00
Módem iDirect x3 evolution	\$1.350,00	0,0%	0,0%	\$1.350,00	1	\$1.350,00
Router Juniper modelo SRX210	\$1.100,00	0,0%	0,0%	\$1.100,00	1	\$1.100,00
BUC JRC, modelo NJT5669	\$655,00	0,0%	0,0%	\$655,00	1	\$655,00
LNB Norsat, modelo 3120	\$230,00	0,0%	0,0%	\$230,00	1	\$230,00
Cables y conectores	\$40,00	0,0%	0,0%	\$40,00	1	\$40,00
Sensor Nanometrics, Trillium Compact	\$4.500,00	0,0%	0,0%	\$4.500,00	1	\$4.500,00
Digitalizador Kinometrics, Quanterra Q330-HRS, 6 canales	\$15.500,00	0,0%	0,0%	\$15.500,00	1	\$15.500,00
Acelerógrafo Guralp, CMG-5TD	\$2.500,00	0,0%	0,0%	\$2.500,00	1	\$2.500,00
Radio digital Free Wave FRG2-PE	\$1.045,00	0,0%	0,0%	\$1.045,00	1	\$1.045,00
Antena receptora tipo yagui 900 MHz	\$22,50	0,0%	0,0%	\$22,50	2	\$45,00

INFRAESTRUCTURA PARA EL NODO DE LUMBAQUI

Antena Prodelin serie 1251, 2.4 metros, Banda C	\$1.950,00	0,0%	0,0%	\$1.950,00	1	\$1.950,00
Módem iDirect x3 evolution	\$1.350,00	0,0%	0,0%	\$1.350,00	1	\$1.350,00
Router Juniper modelo SRX210	\$1.100,00	0,0%	0,0%	\$1.100,00	1	\$1.100,00
BUC JRC, modelo NJT5669	\$655,00	0,0%	0,0%	\$655,00	1	\$655,00
LNB Norsat, modelo 3120	\$230,00	0,0%	0,0%	\$230,00	1	\$230,00
Cables y conectores	\$40,00	0,0%	0,0%	\$40,00	1	\$40,00
Radio digital Free Wave FRG2-PE	\$1.045,00	0,0%	0,0%	\$1.045,00	2	\$2.090,00
Antena receptora tipo yagui 900 MHz	\$22,50	0,0%	0,0%	\$22,50	3	\$67,50

INFRAESTRUCTURA PARA EL NODO DE SANTA ROSA

Antena Prodelin serie 1251, 2.4 metros, Banda C	\$1.950,00	0,0%	0,0%	\$1.950,00	1	\$1.950,00
Módem iDirect x3 evolution	\$1.350,00	0,0%	0,0%	\$1.350,00	1	\$1.350,00
Router Juniper modelo SRX210	\$1.100,00	0,0%	0,0%	\$1.100,00	1	\$1.100,00
BUC JRC, modelo NJT5669	\$655,00	0,0%	0,0%	\$655,00	1	\$655,00
LNB Norsat, modelo 3120	\$230,00	0,0%	0,0%	\$230,00	1	\$230,00
Cables y conectores	\$40,00	0,0%	0,0%	\$40,00	1	\$40,00
Radio digital Free Wave FRG2-PE	\$1.045,00	0,0%	0,0%	\$1.045,00	2	\$2.090,00
Antena receptora tipo grillada 900 MHz	\$45,00	0,0%	0,0%	\$45,00	2	\$90,00

TOTAL **\$42.807,50**

COSTOS PARCIALES EVENTUALES

Obra Civil e instalación

Obra Civil (Construcción de Casetas)
Caja metálica para equipos
Instalación
Compra de terreno en Lumbaqui

COSTO FOB	DESCUENTO	INTERNACION	COSTO LOCAL	CANTIDAD	COSTO TOTAL
			\$6.500,00	2	\$13.000,00
			\$350,00	1	\$350,00
			\$4.680,00	1	\$4.680,00
			\$5.000,00	1	\$5.000,00

SUBTOTAL COSTOS EVENTUALES

\$ 23.030,00

COSTOS PARCIALES RECURRENTE

Pago por arriendo de terreno o propiedades(mensual)
Mantenimiento preventivo (repetidoras)

			\$160,00	1	\$160,00
			\$610,00	1	\$610,00

SUBTOTAL COSTOS RECURRENTE

\$ 770,00

COSTOS TERMINALES CAPEX

COSTO FOB	DESCUENTO	INTERNACION	COSTO LOCAL	CANTIDAD	COSTO TOTAL
-----------	-----------	-------------	-------------	----------	-------------

INFRAESTRUCTURA PARA ESTACIONES

INFRAESTRUCTURA PARA ESTACIÓN TIPO 1

Antena Prodelin serie 1184, 1.8 metros, Banda C	\$855,00	0,0%	0,0%	\$855,00	13	\$11.115,00
Módem iDirect x3 evolution	\$1.350,00	0,0%	0,0%	\$1.350,00	13	\$17.550,00
Router Juniper modelo SRX210	\$1.100,00	0,0%	0,0%	\$1.100,00	13	\$14.300,00
BUC JRC, modelo NJT5669	\$655,00	0,0%	0,0%	\$655,00	13	\$8.515,00
LNB Norsat, modelo 3120	\$230,00	0,0%	0,0%	\$230,00	13	\$2.990,00
Cables y conectores	\$40,00	0,0%	0,0%	\$40,00	13	\$520,00

INFRAESTRUCTURA PARA RED DE MONITOREO

Sensor Nanometrics, Trillium Compact	\$4.500,00	0,0%	0,0%	4.500	13	\$4.513,00
Digitalizador Kinometrics, Quanterra Q330-HRS, 6 canales	\$15.500,00	0,0%	0,0%	15.500	10	\$15.510,00
Digitalizador Kinometrics, Quanterra Q330-HRS, 3 canales	\$12.300,00	0,0%	0,0%	12.300	3	\$12.303,00
Acelerógrafo Guralp, CMG-5TD	\$2.500,00	0,0%	0,0%	2.500	9	\$2.509,00
Microbarómetro Chaparral	\$1.700,00	0,0%	0,0%	1.700	2	\$1.702,00
Modem Trimble GPS NETRS + Antena receptora	\$17.500,00	0,0%	0,0%	17.500	7	\$17.507,00
Antena Yagui, 900 MHz	\$22,50	0,0%	0,0%	23	5	\$27,50
Antena Grillada Microonda, 900 MHz	\$45,00	0,0%	0,0%	45	2	\$47,00
Radio Free Wave Plus, FGR2-PE	\$1.045,00	0,0%	0,0%	1.045	5	\$1.050,00

REPUESTOS

REPUESTOS PARA RED DE TRANSMISIÓN VSAT

Módem iDirect x3 evolution	\$1.350,00	0,0%	50,0%	\$1.350,00	10,00	\$13.500,00
Router Juniper modelo SRX210	\$1.100,00	0,0%	50,0%	\$1.100,00	12,00	\$13.200,00
BUC JRC, modelo NJT5669	\$655,00	0,0%	50,0%	\$655,00	7,00	\$4.585,00
LNB Norsat, modelo 3120	\$230,00	0,0%	50,0%	\$230,00	7,00	\$1.610,00
Cables y conectores	\$40,00	0,0%	50,0%	\$40,00	8,00	\$320,00

REPUESTOS PARA LA RED DE MONITOREO

Sensor Nanometrics, Trillium Compact	\$4.500,00	0,0%	0,0%	\$4.500,00	10	\$45.000,00
Digitalizador Kinometrics, Quanterra Q330-HRS, 6 canales	\$15.500,00	0,0%	0,0%	\$15.500,00	4	\$62.000,00
Digitalizador Kinometrics, Quanterra Q330-HRS, 3 canales	\$12.300,00	0,0%	0,0%	\$12.300,00	4	\$49.200,00
Acelerógrafo Guralp, CMG-5TD	\$2.500,00	0,0%	0,0%	\$2.500,00	8	\$20.000,00
Microbarómetro Chaparral	\$1.700,00	0,0%	0,0%	\$1.700,00	10	\$17.000,00
Modem Trimble GPS NETRS + Antena receptora	\$17.500,00	0,0%	0,0%	\$17.500,00	3	\$52.500,00
Antena Yagui, 900 MHz	\$22,50	0,0%	0,0%	\$22,50	13	\$292,50
Antena Grillada Microonda, 900 MHz	\$45,00	0,0%	0,0%	\$45,00	10	\$450,00
Radio Free Wave Plus, FGR2-PE	\$1.045,00	0,0%	0,0%	\$1.045,00	12	\$12.540,00

TOTAL **\$402.356,00**

COSTOS TERMINALES EVENTUALES

	COSTO FOB	DESCUENTO	INTERNACION	COSTO LOCAL	CANTIDAD	COSTO TOTAL
Instalación				\$23.473,00	1	\$23.473,00
Obra Civil (Construcción de casetas)				\$6.500,00	5	\$32.500,00
cajas metálicas(para equipos)				\$350,00	8	\$2.800,00
TOTAL						\$26.273,00

COSTOS TERMINALES RECURRENTE

	COSTO FOB	DESCUENTO	INTERNACION	COSTO LOCAL	CANTIDAD	COSTO TOTAL
Mantenimiento preventivo de la Red de estaciones(mensual)				\$2.979,60	1	\$2.979,60
TOTAL						\$2.979,60

Costos Globales de instalación

Cantidad de personal para instalación	4
Cantidad de días para instalación	2
Valor de alimentación por persona	\$20,00
Valor de combustible diario	\$30,00

Número de estaciones globales	2
Valor total de combustible	\$60,00
Valor total de alimentación	\$80,00
TOTAL	\$140,00

Costos Terminales de Instalación

Cantidad de personal para instalación	4
Cantidad de días para instalación	3
Costo promedio de pasaje aéreo	\$120,00
Valor diario de renta de vehículo	\$130,00
Valor por alquiler de helicóptero	\$4.500,00
Valor asignado para combustible (diario)	\$30,00
Valor de viatico diario por persona	\$90,00
Valor de subsistencia diario por persona	\$45,00

Número de estaciones que conforman la red	13
Valor total de combustible por viaje	\$1.170,00
Valos total por pasajes aéreos	\$3.360,00
Valor total de viatico	\$9.360,00
Valor total de subsistencia	\$2.340,00
Valor total de alquiler de helicóptero	\$4.500,00
Valor total por renta de vehículo	\$2.730,00
TOTAL	\$23.473,00

Costos Parciales de Instalación

Cantidad de personal para instalación	4
Cantidad de días para instalación	3
Valor de viático por persona	\$90,00
Valor de subsistencia por persona	\$45,00
Valor de combustible diario	\$30,00
Valor de pasaje aéreo para Galápagos	\$450,00

Número de estaciones parciales	3
Valor total de combustible	\$180,00
Valor total para pasajes a Galápagos	\$1.800,00
Valor total de viatico	\$2.160,00
Valor total de subsistencia	\$540,00
TOTAL	\$4.680,00

Valor total de instalación	\$28.293,00
-----------------------------------	--------------------

Costos Globales de mantenimiento

Cantidad de personal para mantenimiento	2
Cantidad de días para mantenimiento	1
Valor de alimentación por persona	\$20,00
Valor de combustible diario	\$30,00

Número de estaciones globales	2
Valor total de combustible	\$30,00
Valor total de alimentación	\$40,00
TOTAL	\$70,00

Costos Terminales de mantenimiento

Cantidad de personal para mantenimiento	3
Cantidad de días para mantenimiento	2
Costo promedio de pasaje aéreo	\$120,00
Valor diario de renta de vehículo	\$130,00
Valor por alquiler de helicóptero	\$4.500,00
Valor asignado para combustible (diario)	\$30,00
Valor de viatico diario por persona	\$90,00
Valor de subsistencia diario por persona	\$45,00

Número de estaciones terminales	13
Valor total de combustible por viaje	\$780,00
Valor total por pasajes aéreos	\$2.520,00
Valor total de viatico	\$3.510,00
Valor total de subsistencia	\$1.755,00
Valor total de alquiler de helicóptero	\$4.500,00
Valor total por renta de vehículo	\$1.820,00
TOTAL	\$14.898,00
TOTAL MENSUALIZADO	\$2.979,60

Costos Parciales de mantenimiento

Cantidad de personal para mantenimiento	2
Cantidad de días para mantenimiento	2
Valor de viático por persona	\$90,00
Valor de subsistencia por persona	\$45,00
Valor de combustible diario	\$30,00
Valor de pasaje aéreo para Galápagos	\$450,00

Número de estaciones parciales	3
Valor total de combustible	\$120,00
Valor total para pasajes a Galápagos	\$900,00
Valor total de viatico	\$540,00
Valor total de subsistencia	\$270,00
TOTAL	\$1.830,00

CRITERIO DE MENSUALIZACION

	tasa anual	tasa mensual	Nper(anios)	Nper(meses)
Infraestructura Global y Parcial	24,73%	2,1%	5	60
Infraestructura terminal	22,73%	1,9%	3	36
N.- de Meses / año	12			

RESUMEN DE COSTOS NO MENSUALIZADO

	GLOBALES	PARCIALES	TERMINALES
CAPEX	\$ 21.869,00	\$ 42.807,50	\$ 402.356,00
COSTOS EVENTUALES	\$ 3.640,00	\$ 23.030,00	\$ 26.273,00
COSTOS RECURRENTE	\$ 3.070,00	\$ 770,00	\$ 2.979,60

RESUMEN DE COSTOS MENSUALIZADO

	GLOBALES	PARCIALES	TERMINALES
CAPEX	\$ 638,36	\$ 1.249,56	\$ 15.517,48
COSTOS EVENTUALES	\$ 106,25	\$ 672,25	\$ 1.013,26
COSTOS RECURRENTE	\$ 3.070,00	\$ 770,00	\$ 2.979,60
	\$ 3.814,62	\$ 2.691,82	\$ 19.510,34

CAPACIDAD DE LA RED SEGÚN PORCENTAJES DE UTILIZACION

	25%	50%	75%	100%
Multiparamétrica	0,8	1,5	2,3	3,0
Sísmica	0,5	1,0	1,5	2,0
Sísmica-Acelerógrafo	0,5	1,0	1,5	2,0
Sísmica-Infrasonido	0,3	0,5	0,8	1,0
Sísmica-GPS	1,3	2,5	3,8	5,0

COMPONENTE DE COSTOS GLOBALES

Numero de Estaciones

	13			
	25%	50%	75%	100%
Multiparamétrica	\$ 391	\$ 196	\$ 130	\$ 98
Sísmica	\$ 587	\$ 293	\$ 196	\$ 147
Sísmica-Acelerógrafo	\$ 587	\$ 293	\$ 196	\$ 147
Sísmica-Infrasonido	\$ 1.174	\$ 587	\$ 391	\$ 293
Sísmica-GPS	\$ 235	\$ 117	\$ 78	\$ 59

COMPONENTE DE COSTOS PARCIALES

	25%	50%	75%	100%
Multiparamétrica	\$ 3.589	\$ 1.795	\$ 1.196	\$ 897
Sísmica	\$ 5.384	\$ 2.692	\$ 1.795	\$ 1.346
Sísmica-Acelerógrafo	\$ 5.384	\$ 2.692	\$ 1.795	\$ 1.346
Sísmica-Infrasonido	\$ 10.767	\$ 5.384	\$ 3.589	\$ 2.692
Sísmica-GPS	\$ 2.153	\$ 1.077	\$ 718	\$ 538

COMPONENTE DE COSTOS TERMINALES

	25%	50%	75%	100%
Multiparamétrica	\$ 19.510	\$ 19.510	\$ 19.510	\$ 19.510
Sísmica	\$ 19.510	\$ 19.510	\$ 19.510	\$ 19.510
Sísmica-Acelerógrafo	\$ 19.510	\$ 19.510	\$ 19.510	\$ 19.510
Sísmica-Infrasonido	\$ 19.510	\$ 19.510	\$ 19.510	\$ 19.510
Sísmica-GPS	\$ 19.510	\$ 19.510	\$ 19.510	\$ 19.510

COSTO/MES/SERVICIO=(COSTO GLOBAL+COSTO PARCIAL+COSTOTERMINAL)

	25%	50%	75%	100%
Multiparamétrica	\$ 23.491	\$ 21.501	\$ 20.837	\$ 20.505
Sísmica	\$ 25.481	\$ 22.496	\$ 21.501	\$ 21.003
Sísmica-Acelerógrafo	\$ 25.481	\$ 22.496	\$ 21.501	\$ 21.003
Sísmica-Infrasonido	\$ 31.451	\$ 25.481	\$ 23.491	\$ 22.496
Sísmica-GPS	\$ 21.899	\$ 20.704	\$ 20.306	\$ 20.107

Capacidad Vs. Costo

