



Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica



TRABAJO DE DIPLOMA DE MAESTRÍA

“Dimensionamiento de redes VSAT”

Autor: *Oswaldo León Viltre.*

Tutor: *Msc. David Beltrán Casanova.*

Santa Clara

2010

"Año 52 de la Revolución"



RESUMEN

El presente trabajo muestra las principales características de la redes satelitales VSAT (Terminal de muy Pequeña Apertura). Ofrece una descripción que va desde los distintos elementos que componen la red, las arquitecturas y bandas de frecuencias más usadas hasta los protocolos de acceso múltiple y principales aplicaciones actuales. Se hace un análisis del enlace de radiofrecuencia que se tiene de la estación terrena al satélite y viceversa, se definen los principales parámetros tanto de las estaciones terrenas como del segmento espacial que se deben conocer a la hora de realizar los cálculos que caracterizan el desempeño del enlace. También se explica los pasos a seguir cuando se necesita dimensionar el ancho de banda que ocupará una red VSAT. Se brinda un ejemplo que muestra paso a paso como se efectúa el cálculo del enlace de radiofrecuencia entre una estación remota y una estación maestra. Posteriormente se expone el cálculo del ancho de banda necesario para implementar una red VSAT que ofrece tres tipos de servicios de conectividad y finalmente se valida el software propuesto para estos casos.

INDICE

RESUMEN	I
INDICE.....	II
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: Características de las Redes VSAT	4
1.1 Introducción a las redes VSAT	4
1.2 Origen y evolución de las redes VSAT	5
1.3 Arquitectura de las redes VSAT	6
1.3.1 Red en estrella.....	7
1.3.2 Red en malla	7
1.4 Protocolos de acceso múltiple	8
1.5 Bandas de frecuencias y cobertura.....	10
1.5.1 Elección de la banda de frecuencia a usar	11
1.6 Elementos que componen una red VSAT	12
1.6.1 Estaciones Terrenas	12
1.6.1.1 La estación VSAT	13
1.6.1.2 La estación maestra	15
1.6.1.3 PIRE de las estaciones terrenas	16
1.6.2 El satélite.....	17

1.6.2.1	<i>Transponder</i> del satélite	18
1.6.2.2	El segmento espacial	18
1.7	Fuentes de ruido.....	19
1.8	Interferencias	20
1.8.1	Interferencia cocanal.....	20
1.8.2	Interferencias debido a estaciones terrestres de microondas	21
1.8.3	Interferencia sobre otros sistemas.....	21
1.9	Aplicaciones.....	21
CAPÍTULO II: Dimensionamiento de redes VSAT		24
2.1	Introducción.....	24
2.2	Análisis del enlace de RF	24
2.2.1	Modulación de la señal	25
2.2.2	Fundamentos de la transmisión radioeléctrica.....	26
2.2.3	Análisis del enlace ascendente.....	27
2.2.3.1	Pérdidas debido al camino de subida.....	29
2.2.3.2	Pérdidas debido a la distancia.....	29
2.2.3.3	Pérdidas atmosféricas	29
2.2.4	Análisis del enlace descendente.....	30
2.2.4.1	Pérdidas debido al camino de bajada.....	31
2.2.4.2	Pérdidas debido a la distancia.....	32
2.2.4.3	Pérdidas atmosféricas	32
2.3	Análisis del enlace satelital estación VSAT - hub.....	32

2.3.1	Parámetros necesarios para el cálculo del enlace	33
2.3.2	Primeros cálculos para describir el desempeño del enlace	34
2.3.3	Desempeño del enlace ascendente	35
2.3.4	Punto de operación del <i>transponder</i>	35
2.3.5	Desempeño del enlace descendente	36
2.3.6	Desempeño del enlace descendente	37
2.3.6.1	Margen del enlace en presencia de lluvia	38
2.4	Direccionamiento de las antenas	38
2.5	Procedimiento para el cálculo del ancho de banda	40
2.5.1	Capacidad total del enlace	41
2.5.2	Enlace <i>upstream</i>	41
2.5.3	Enlace <i>downstream</i>	43
2.5.4	Ancho de banda total ocupado por la red	43
 CAPÍTULO III: Ejemplo de dimensionamiento de redes VSAT		44
3.1	Introducción	44
3.2	Cálculo del margen del enlace	44
3.2.1	Aspectos técnicos y configuración de las estaciones	44
3.2.2	Cálculo del margen del enlace en condiciones de cielo despejado	45
3.2.3	Cálculo del margen del enlace en presencia de desvanecimiento por lluvia	48
3.3	Ancho de banda utilizado por la red	52
3.4	Conclusiones parciales	57

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
Conclusiones	58
Recomendaciones	58
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59
GLOSARIO DE TÉRMINOS	62
ANEXOS.....	65
Anexo 3.1 Parámetros de las estaciones terrenas	65
Anexo 3.2 Elementos esenciales del satélite y la señal portadora.....	66
Anexo 3.3 Región climática: América	67
Anexo 3.4 Datos del modem de usuario.....	68
Anexo 3.5 Datos del modem SURFBEAM SMTS-1200.....	69

INTRODUCCION

Uno de los principales retos del hombre ha sido la perfecta comunicación y el control de ciertos recursos a distancia. Esta situación ha sido resuelta en varios países con la utilización de soluciones de comunicaciones vía satélite, mediante la implementación de redes VSAT (*Very Small Aperture Terminal*, Terminal de muy Pequeña Apertura), teniendo en cuenta la versatilidad que se puede alcanzar con esta tecnología y la flexibilidad que la caracteriza. Los avances tecnológicos experimentados en este campo, han llevado a un escenario real la mayor parte de estos anhelos, convirtiéndose hoy día en algo cotidiano.

Entre los sistemas de comunicaciones basados en satélites, quizás sean las redes VSAT las que ofrecen mayores posibilidades en el campo de las Telecomunicaciones. Una red VSAT es un sistema de comunicaciones que permite conexiones punto a punto o punto a multipunto vía satélite con terminales de pequeña apertura ofreciendo interfaces inteligentes a protocolos terrestres existentes y servicios de valor añadido al usuario, independientemente de las características geográficas o la ubicación de los terminales.

Estas redes surgieron como respuesta a la problemática que afectó a los usuarios de redes terrestres y de transmisión electromagnética, problemas como: pobre relación confiabilidad/disponibilidad, costos de mantenimiento crecientes o inestables, alta complejidad en montaje y operación, difícil acceso a lugares remotos o inaccesibles, etc.

En un inicio fue un negocio de pequeñas estaciones terrestres desarrollado en los 80 por *Telecom General* en los Estados Unidos. Se puede decir que la VSAT es uno de los pasos intermedios de la tendencia general a la reducción del tamaño de las estaciones terrestres que se ha ido observando desde el lanzamiento del primer satélite de comunicaciones a mediados de los 60.

El terminal VSAT, se caracteriza por el reducido tamaño de la antena y el bajo costo de los terminales. Este tipo de redes, que se apoya en los satélites como elemento de transmisión, proporciona una alternativa muy atractiva y en creciente expansión, apareciendo en algunos momentos como una solución en casos donde no pueden operar las redes terrestres. Su estructura básica está conformada por una estación terrestre, con antena de grandes dimensiones (hub), a la cual se conectan vía satélite terminales de muy pequeña apertura.

Con las posibilidades ofrecidas por la tecnología VSAT se satisfacen los requerimientos en cuanto a acceso múltiple, manejo de diversos tipos de tráfico, establecimiento de redes, integridad y seguridad de los datos, así como soporte a servicios de transmisión de datos, voz y vídeo.

El objetivo primordial que se persigue con este trabajo es el análisis de un procedimiento que sea capaz de describir el dimensionamiento de redes VSAT y un primer prototipo de software que facilite y agilice los cálculos de dicho dimensionamiento. Siguiendo esa meta se desarrollan otros objetivos secundarios como: la caracterización de las redes satelitales VSAT, identificación de los aspectos más críticos en ellas y por último la evaluación del procedimiento a través de un ejemplo y la validación del software.

En el primer capítulo se realiza un análisis de las características de las redes VSAT, se expone el desarrollo histórico y la evolución desde su surgimiento; aborda los aspectos más distintivos de su arquitectura de red, elementos que la componen, bandas de frecuencia usadas, el comportamiento de los diferentes protocolos de acceso múltiple y las principales aplicaciones.

El segundo capítulo abarca lo referente al enlace radioeléctrico, tanto ascendente como descendente, teniendo en cuenta los recursos del satélite que se utiliza y los parámetros técnicos del equipamiento de las estaciones terrenas. Se exponen los requerimientos para el dimensionamiento de la red, donde se muestra un método para el cálculo del margen de un enlace entre una VSAT y el hub, además del ancho de banda que ocupa, basados en los términos de las tasas binarias requeridas. Se describe el método de acceso al *transponder* que se haya elegido y el protocolo seleccionado para el canal de multiacceso.

El tercer capítulo consiste en la solución de un ejemplo que fundamente lo referido en el capítulo dos. Al inicio se efectúa el cálculo del margen del enlace entre una estación VSAT ubicada en el territorio de Santa Clara y el hub en Cojímar. En el mismo se realiza un análisis de las condiciones meteorológicas, lo que constituye un factor de extrema importancia para la determinación del grado de servicio de la red, basado en la disponibilidad, que no es más que el porcentaje de tiempo en que se puede tener acceso a ella. Además se realiza el cálculo del ancho de banda de una red en estrella donde se definen tres tipos de servicios de conectividad. Por último se realiza una comparación entre los resultados obtenidos en el cálculo del radio enlace y los obtenidos con la aplicación del software que se propone.

CAPITULO I. CARACTERISTICAS DE LAS REDES VSAT

1.1 Introducción a las redes VSAT

El término VSAT (*Very Small Aperture Terminal*, Terminal de muy Pequeña Apertura) responde a un concepto ampliamente reconocido y popular con el que se designan las estaciones terrenas de satélite muy pequeñas y económicas que están conectadas directamente a los usuarios. Estas estaciones se explotan generalmente en marcos de sistemas privados o de grupos de usuarios cerrados, con aplicaciones que van desde las comunicaciones de datos, la conexión directa de computadoras remotas con computadoras centrales, la telefonía, la video conferencia, etc.

Las redes VSAT permiten enlazar puntos remotos a través de satélites comerciales situados en el anillo geostacionario. Dada su gran flexibilidad se adaptan a las necesidades específicas de cada usuario permitiendo conexiones punto-punto o punto-multipunto, ofreciendo interfaces inteligentes a protocolos terrestres existentes y servicios de valor añadido al usuario.

Caracterizadas por su fácil instalación, constan de una antena de diámetro variable (0,8; 1,2; 1,8; 2,4; 3,8 metros) dependiendo de la capacidad de transmisión que requiera el usuario y equipos de radiofrecuencia, además de los equipos necesarios para la conexión a las redes propias del usuario. Las bandas de frecuencia más empleadas para el establecimiento de estas redes son la C (4-7 GHz) y la Ku (11-14 GHz). Otra característica importante es que el tiempo de acceso es muy cercano y en algunos casos menor tiempo de acceso que las redes terrestres.

Con este tipo de tecnología es posible conectar cientos de estaciones remotas a una estación central sin mayor restricción que la capacidad de almacenamiento y de procesamiento de la estación central, además este tipo de redes siempre que las estaciones estén dentro del área de convergencia del satélite la distancia no es un factor de riesgo, por lo que esta no es una restricción. Además todas las estaciones remotas tienen las mismas facilidades para acceder a la estación central. Las comunicaciones solicitadas varían desde valores pequeños de

kilobits por segundo (alrededor de los 64 kbps) hasta valores mayores (alrededor de los 4 Mbps).

Se recomienda el uso de los terminales VSAT cuando es necesario recibir y/o transmitir información desde instalaciones en puntos remotos. Además, el agregado de técnicas de modulación y subsistemas de baja potencia a la transmisión, estos últimos de la estación terrena, las hace atractivas desde el punto de vista del aprovechamiento de estaciones espaciales que transmiten principalmente hacia las regiones de mayor densidad de tráfico.

En la actualidad existe una variante más evolucionada de las VSAT, las USAT (*Ultra Small Aperture Terminal*) son terminales de menos de un metro de diámetro (pueden llegar hasta 55 centímetros) y poseen una tecnología altamente integrada para permitir el acceso a bajo costo a la red VSAT. Las USAT operan en redes con topología en estrella.

1.2 Origen y evolución de las redes VSAT

En 1979, la Compañía Ecuatorial de Comunicaciones, comenzó a ofrecer servicios de VSAT, únicamente en Estados Unidos. La primera versión de VSAT era conocida como C-100 VSAT. Los enlaces eran en banda C, usaban técnicas de espectro extendido para evitar interferencias de satélites adyacentes en el enlace descendente.

En 1981 desarrollaron la serie C-200, ofreciendo servicios dirigidos a sus principales clientes, *Farmers Insurance*. Estos se equiparon con alrededor de 2400 VSAT de la serie C-200. Esta compañía fue comprada por ASC Contel, que hoy forma parte de la red espacial GTE. La serie C-200 de VSAT, pasó a llamarse Equasat.

Desde su liberación al mercado han existido tres generaciones de VSAT:

- Primera Generación de VSAT: Antes de 1980 se demostró exitosamente el uso de la tecnología de los terminales de apertura pequeña, posteriormente en 1980 se tuvo el refinamiento de los esquemas de contención de acceso. Esta tecnología se dedicó principalmente a la transmisión unidireccional, utilizando técnicas de espectro extendido en Banda C.

- Segunda Generación de VSAT: Entre 1983 y 1984 funcionan exitosamente las aplicaciones de comunicaciones de datos y el desarrollo de redes básicas. En 1985 se logra el desarrollo de hardware multipuerto-multiprotocolo, se agrega la operación bidireccional de baja velocidad, utilizando protocolos simples de contención, se introduce el funcionamiento de las VSAT en la banda Ku y se dan los primeros pasos hacia operaciones y gestiones de red en general.
- Tercera Generación de VSAT: Desde 1987 y hasta la fecha, su arquitectura se ha estandarizado, se ha mejorado el acceso, así como se han optimizado los esquemas de administración de redes. Ha existido un desarrollo creciente del software definido multipuerto-multiprotocolo.

Esta etapa ha introducido un uso más eficiente del ancho de banda, sistemas de puertas multiprotocolo definidas por programas lógicos (software), gestiones de red más modernas y operaciones de red combinadas (VSAT/terrestre/LAN). También comenzaron a aparecer los sistemas USAT como una evolución natural de la tecnología VSAT y la creciente demanda de sistemas altamente integrados y de bajo costo.

1.3 Arquitectura de las redes VSAT

En la figura 1.1 se muestran las diferentes topologías que adoptan las redes VSAT en dependencia de los requerimientos de flujo de tráfico de las aplicaciones finales. Estas son:

- Estrella
- Malla

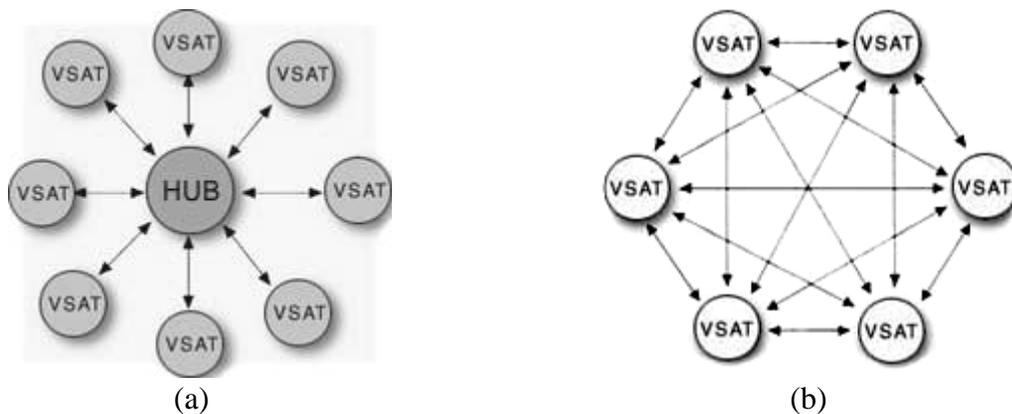


Figura 1.1 Arquitectura de las redes VSAT. Estrella a). Malla b).

1.3.1 Red en estrella

Esta es la topología más popular, consta de una estación terrena central conocida como hub, su antena generalmente oscila en el rango de 4-11 metros de diámetro. El hub realiza el control, monitoreo y comunicación con un gran número de VSAT dispersas, figura 1.1a. Como todas las VSAT se comunican solamente con el hub este tipo de topología se utiliza mayormente en aplicaciones con requerimientos de procesamiento de datos en forma centralizada. Surge por la necesidad de requisitos de potencia, que no se cumplirían con el reducido tamaño de las antenas en los remotos y con la limitación de potencia del satélite, y sí al incluir el hub.

Por otra parte los terminales usan antenas de dimensiones reducidas y receptores con una sensibilidad limitada; los enlaces directos entre VSAT no cumplen los requisitos mínimos de calidad, por lo que se necesita una estación terrena que actúe de retransmisor, de aquí el nombre de estrella.

El enlace que va del terminal al satélite se denomina enlace ascendente (*uplink*), el que va desde el satélite al terminal se llama enlace descendente (*downlink*). La transferencia de información desde un VSAT al hub se conoce como *inbound* y desde el hub a la VSAT como *outbound*.

Se pueden mencionar dos tipos de redes estrella: bidireccionales, cuando las aplicaciones requieren que se comuniquen los VSAT con el hub y viceversa y redes estrella unidireccionales cuando sólo hay comunicación desde el hub hacia los VSAT. Esta arquitectura es apropiada para las aplicaciones que siguen el modelo cliente-servidor.

1.3.2 Red en malla

Cuando es posible establecer un enlace directo entre dos VSAT sin pasar por una estación central estamos en presencia de una red VSAT en malla, figura 1.1b. Estas tienen antenas de mayor diámetro y receptores de mayor sensibilidad. Cuando una red se configura en malla una de las estaciones realiza las funciones de centro de control, encargándose de la administración y asignación de los canales de transmisión a las restantes.

Este tipo de redes es adecuado para aplicaciones telefónicas y también han sido adoptadas para desarrollar enlaces punto a punto de alta velocidad. Esto se debe principalmente al menor tiempo de retardo de esta topología con respecto a las redes en estrella (0.25s en una red en malla por 0.5s en una red estrella debido al inevitable doble salto).

1.4 Protocolos de acceso múltiple

En el presente epígrafe se describen desde el punto de vista funcional los diferentes protocolos de acceso múltiple que se pueden implementar, ya sea en los enlaces de subida o en los de bajada, así como las distintas variantes y casos típicos en que son aplicables.

TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo): El protocolo TDMA es conveniente en redes con razón de transmisión de datos media, con TDMA todos los VSAT comparten la misma fuente del satélite en forma de ranuras de tiempo. Los VSAT remotos usan canales TDMA (*inroutes*) para comunicarse con el hub. Existen varios *inroutes* asociados a un *outroute* (canal utilizado por el hub para comunicarse con los VSAT), o sea, varios VSAT usan un mismo *inroute* compartiendo así el mismo ancho de banda.

Una función crítica en todos los sistemas TDMA es la referente a la sincronización de tiempo, la que es realizada por el hub. Los VSAT pueden acceder al *inroute* con el modo TDMA con asignación fija, en el cual cada VSAT es posicionado en una o varias ranuras de tiempo fijas.

ALOHA (Acceso Aleatorio por División del Tiempo) **convencional**: Todos los VSAT tienen libre acceso al canal, sin ningún tipo de sincronización, cada VSAT accede cuando necesita transmitir si el canal está libre. Puede existir un problema cuando dos terminales intentan acceder al canal simultáneamente, lo que produce una colisión. Para resolver estos casos el sistema está provisto de un algoritmo que regula las retransmisiones intentando minimizar la probabilidad de recolisión. Existen algunas variantes de ALOHA como el ALOHA ranurado y el ALOHA con rechazo selectivo.

FDMA (Múltiple Acceso por División de Frecuencia): Todas las VSAT comparten los recursos del satélite solo en cuanto a frecuencia, es implementado típicamente en redes con topología de malla y tiene las siguientes variantes:

- ❖ **PAMA** (Acceso Múltiple Preasignado): implica que cada VSAT se encuentra colocada en una frecuencia designada, es equivalente a la solución de línea arrendada en redes terrestres, esta solución es apropiada para aplicaciones de datos interactivos o altos volúmenes de tráfico, ya que no existe demora de llamada porque esta solución cuenta de forma permanente con los recursos del satélite.
- ❖ **DAMA** (Múltiple Acceso con Asignación por Demanda): la red usa un grupo de canales del satélite, los que están disponibles para cualquier estación. Bajo demanda, son asignados un par de canales para establecer la comunicación, una vez que se establece, estos son devueltos para ser asignados nuevamente a otra aplicación. Dado que los recursos del satélite son usados en proporción a los circuitos activos y sus tiempos de mantenimiento, este modo es apropiado para tráfico de voz y datos. DAMA ofrece servicios punto a punto de voz, fax, requerimientos de datos y soportes de videoconferencia.

CDMA (Múltiple Acceso por División de Código): En este caso un sistema de monitoreo asigna un código único a cada VSAT, permitiendo que múltiples VSAT transmitan simultáneamente y compartan la misma banda de frecuencia, la señal de datos es combinada con una señal de código de alta razón de bit, la cual es independiente de la primera. La recepción al final del enlace es realizada con la mezcla de la señal recibida (que contiene datos y código), con una réplica sincronizada y localmente generada del código.

Puesto que esta red requiere de perfecta sincronización por parte del Sistema de Monitoreo de la Red (NMS), la topología de estrella es la más indicada en este caso. En la práctica esta variante se usa fundamentalmente en aplicaciones de tipo militar por razones de seguridad y rechazo a interferencias.

1.5 Bandas de frecuencia y cobertura

El plan de frecuencia ha sido establecido por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). Se ha establecido que se usen las bandas de frecuencia:

- Banda C o banda Ku para aplicaciones civiles.
- Banda X para aplicaciones militares.
- Banda Ka para sistemas experimentales.

La tabla 1.1 muestra las bandas de frecuencias utilizadas tanto en la recepción como en la transmisión por el hub y los VSAT:

Tabla 1.1 Bandas de frecuencia

	VSAT	hub
Bandas de frecuencia para transmisión	14 – 14,5 GHz en banda Ku 5,925-6,425 GHz en banda C	14-14,5 GHz en banda Ku 5,925-6,425 GHz en banda C
Bandas de frecuencia para recepción	10,7-12,75GHz en banda Ku 3,625-4,2 GHz en banda C	10,7-12,75 GHz en banda Ku 3,625-4,2 GHz en banda C

➤ Cobertura.

Existen diferentes zonas de cobertura según la banda de frecuencia en cuestión, estas se muestran en la figura 1.2:

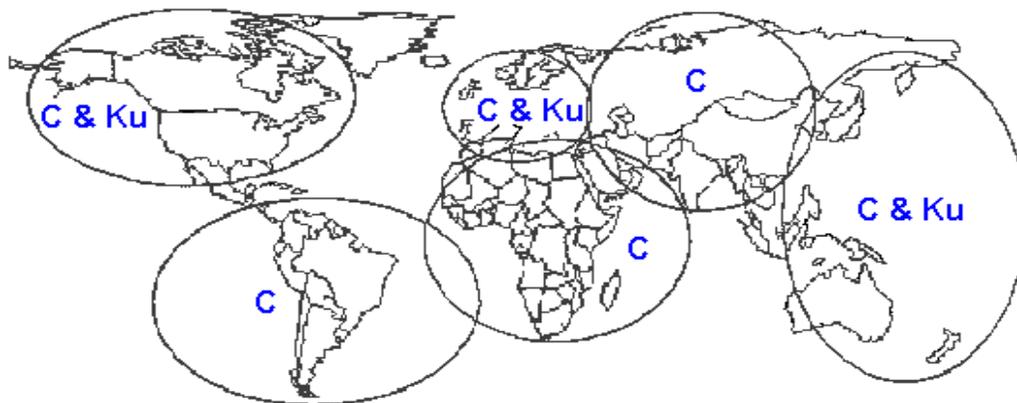


Figura 1.2 Cobertura mundial de las bandas C y Ku

No todas las zonas de la Tierra tienen acceso a las bandas Ku, sólo en Europa, Norte América y zona del Pacífico. También hay que señalar que el satélite que da el servicio puede usar haces con cobertura global, zonal o tipo *spot*.

1.5.1 Elección de la banda de frecuencia a usar

La elección de una banda de frecuencia u otra depende de:

- La disponibilidad de un satélite que cubra la zona donde va a instalarse la red y que disponga de la banda deseada (ver cobertura).
- Problemas de interferencias. El ancho de haz de una antena es inversamente proporcional al producto del diámetro de la antena y la frecuencia, por lo que al usar antenas de pequeño diámetro el ancho del haz es grande y el peligro de recibir interferencia desde otros satélites o de interferir en ellos es también grande. Para la banda C, existe el peligro añadido de los sistemas terrestres de microondas.

De las dos bandas de frecuencias utilizadas comúnmente por los sistemas VSAT (banda C y Ku), reciben mayor atenuación por lluvia/humedad los sistemas ubicados en la banda Ku (generalmente se le denomina “desvanecimiento por lluvia”). La gravedad del problema depende del promedio de precipitación estacional de la región y de la densidad de las células pluviales. En las regiones tropicales con mucha precipitación, la banda Ku puede resultar inadecuada, aunque se puede solucionar el problema con diámetros de antena mayores y técnicas de *bypass*, en aquellos lugares donde se encuentren disponibles.

En aquellas zonas donde la precipitación no es un factor importante para la disponibilidad estimada de la red, la banda Ku resulta una excelente elección debido a la ausencia de los sistemas de microondas terrestres.

Las ventajas y desventajas a tener en cuenta de cada una de estas bandas se muestran en la tabla 1.2.

Tabla 1.2 Ventajas y desventajas de las bandas de frecuencia C y Ku

Banda	Ventajas	Desventajas
C	Disponibilidad mundial Tecnología barata Robustez contra atenuación por lluvia	Susceptible de recibir y causar interferencias desde satélites adyacentes y sistemas terrestre que compartan la misma banda (Se necesitaría en algunos casos recurrir a técnicas de espectro extendido y CDMA). Antenas grandes (1 a 3 metros)
Ku	Uso más eficiente de las capacidades del satélite, ya que, al no estar tan influenciado por las interferencias, se puede usar técnicas de acceso más eficientes como FDMA o TDMA frente a CDMA que hace un uso menos eficaz del ancho de banda. Antenas más pequeñas (0,6 a 1,8 m)	Hay regiones donde no está disponible. Más sensible a las atenuaciones por lluvia. Tecnología más cara.

1.6 Elementos que componen una red VSAT

Los elementos que componen una red VSAT son:

- Las estaciones terrenas.
- El satélite.

1.6.1 Estaciones terrenas

Las estaciones terrenas se componen básicamente de:

- ❖ Estación Maestra (hub): posee la tradicional estación terrena satelital con conmutación de paquetes y equipo de banda base.
- ❖ Estación Remota (VSAT): Pequeña estación terrena y con una unidad interna del tamaño base de una PC IBM, y el equipo del usuario, que es conectado a uno de los puertos de la unidad interna.

1.6.1.1 La estación VSAT

Se divide en dos partes: la unidad interior (IDU) y la unidad exterior (ODU), figura 1.3

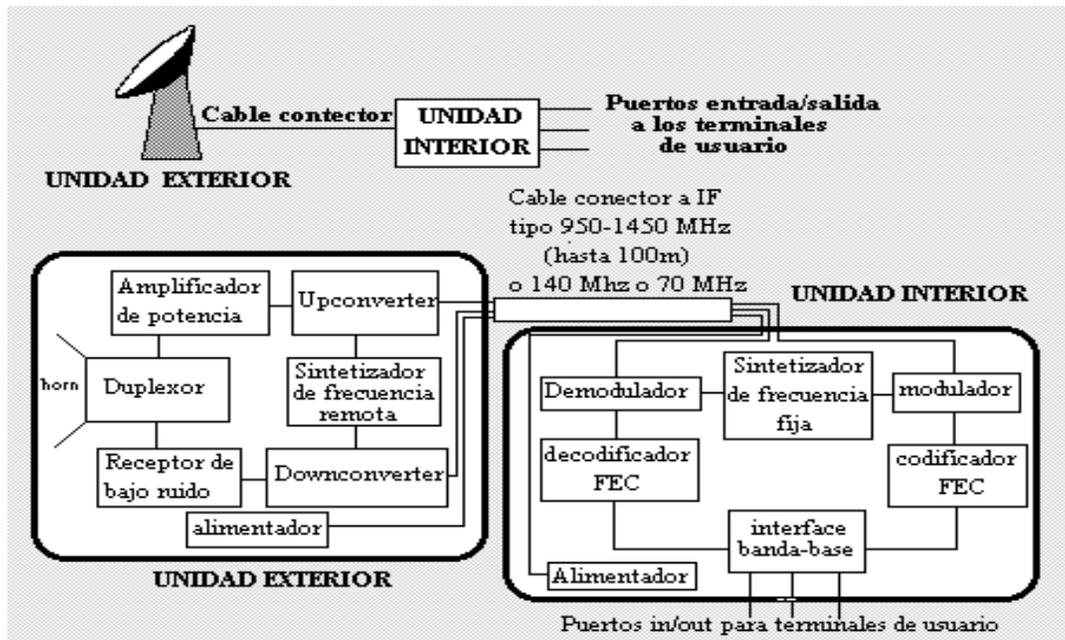


Figura 1.3 Esquema de la estación VSAT

Unidad interior

La IDU es una interfaz para los terminales de usuario y contiene moduladores que sobreponen la señal de tráfico de usuario en una señal portadora, esta entonces, se envía a la ODU para la conversión-up, la amplificación y la transmisión. Además existen demoduladores que reciben la señal de la ODU en rangos de la Frecuencia Intermedia (FI) y la demodulan para segregar la señal portadora de tráfico de usuario.

Determina los esquemas de acceso bajo los cuales el VSAT debe funcionar e interconecta con él varios equipos terminales de usuario, extendiéndose desde ordenadores personales, Redes de Área Local (LAN), *routers*, multiplexores, instrumentos telefónicos, etc. También realiza las conversiones necesarias de protocolos en los datos de usuario antes de la modulación y de la transmisión por la ODU. Una IDU es especificada por las técnicas de acceso, los protocolos manejados y el número de interfaces de acceso utilizadas.

Los siguientes parámetros de la IDU son de importancia:

- Número de puertos.
- Tipos de puertos: mecánicos, eléctricos, funcionales o de procedimiento de la interfaz. Esto es frecuentemente especificado por referencias a estándares.
- Velocidad de los puertos, esto es, la máxima velocidad de bit a la cual se pueden intercambiar datos entre terminales de usuario.

Unidad exterior

El sistema se compone de un reflector, un alimentador y un montaje. La antena varía de 0,8 a 3,8 metros de diámetro. El alimentador es montado en el marco de la antena en su punto focal por los brazos de ayuda, este dirige la potencia transmitida hacia el plato de la antena o recoge la potencia recibida de él, consiste en un elevado número de minicomponentes pasivos de microonda.

La ODU se monta en el marco de la antena y se interconecta al alimentador. La ODU consta de diversos subsistemas, estos incluyen los amplificadores de bajo ruido (LNA) y los convertidores *up-down* para la amplificación y recepción, convirtiendo la señal en ambos sentidos respectivamente.

Los LNA se diseñan para reducir al mínimo el ruido agregado a la señal durante esta primera etapa del convertidor, ya que el ruido de esta etapa determina el funcionamiento total del ruido de su unidad. La temperatura de ruido es el parámetro usado para describir el funcionamiento de los LNA.

Los amplificadores de potencia (HPA) son también parte de la ODU, estos amplifican la señal antes de transmitirse al alimentador, y se extienden de 1 a 40 watts de potencia. Los convertidores de *Up/Down* convierten frecuencias entre la frecuencia intermedia, generalmente a niveles de 70 MHz, y la radiofrecuencia.

La ODU es conectada mediante cable coaxial de bajas pérdidas a la IDU. El límite típico de la longitud del cable en estos enlaces es alrededor de los 300 pies.

Parámetros importantes:

- Bandas de frecuencias de transmisión y recepción.
- El ajuste de las frecuencias de portadora transmitida y recibida.
- Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE), con las condiciones exigidas por el *uplink*, depende de la ganancia de la antena, y por tanto, de su tamaño y de la frecuencia transmisora, además del amplificador de salida.
- El factor de mérito G/T (Ganancia/Temperatura de ruido), debe ajustarse a las condiciones del *downlink*. La razón G/T depende de la ganancia de la antena y por tanto de su tamaño y su frecuencia receptora, además de la temperatura de ruido.
- La temperatura de trabajo, la lluvia y severas condiciones ambientales, son también parámetros a estudiar.

1.6.1.2 La estación maestra

En la figura 1.4 se muestra la arquitectura de una estación hub con sus equipos. Además del tamaño y el número de subsistemas, existe una pequeña diferencia funcional entre un hub y un VSAT. Una característica fundamental, es que la unidad interior de la estación hub puede estar conectada a la computadora que se encarga de administrar la red corporativa, esta conexión puede ser directa a través de una red pública conmutada o una línea privada, dependiendo de si el hub es propio o compartido.

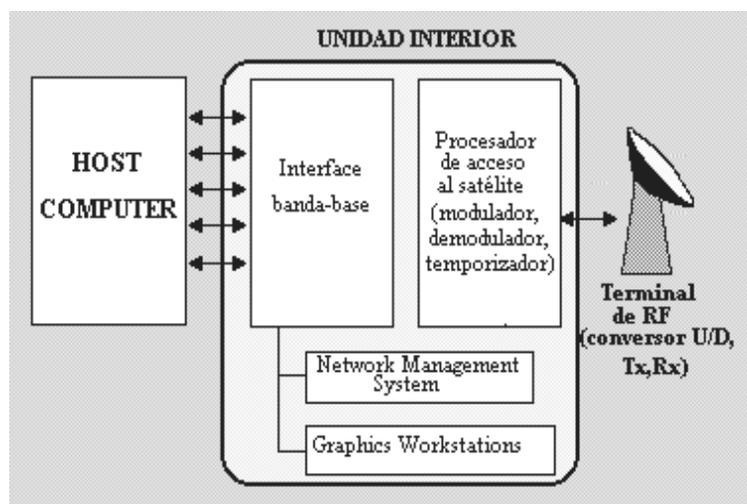


Figura 1.4 Arquitectura de la estación maestra

El hub está equipado con un NMS. El NMS es un miniordenador o una estación de trabajo encargada de la configuración, direccionamiento, monitoreo y control de la red, de ejecutar *resets* y diagnósticos, de ensamblar o desensamblar componentes en la red y de añadir o quitar terminales VSAT, de administrar interferencias de otras redes y canales de satélites. Finalmente el NMS dicta las reglas administrativas como el manejo y el desarrollo de todos los equipos, recordando el uso de la red y preparando su construcción. Actualmente la responsabilidad del NMS es responder a las necesidades de los usuarios y diferenciar entre distintos tipos redes. La unidad de RF se encarga de transmitir y recibir las señales. Su diagrama de bloques completo sería similar al de la ODU del terminal VSAT.

1.6.1.3 PIRE de las estaciones terrenas

La PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Equivalente) para la estación terrena es el producto de la potencia que alimenta la antena transmisora (P_T) por la ganancia de dicha antena (G_T). Esta potencia es la que ofrece el transmisor tras pasar por el alimentador, con las consiguientes pérdidas. Resulta necesario que se tengan en cuenta las pérdidas por desapuntamiento y no consideremos simplemente la ganancia máxima de la antena:

$$PIRE(W) = P_T \times G_T \times (\vartheta_T) \quad (1.1)$$

$$G_{max} = \eta_0 \left(\frac{\pi D_a f}{c} \right)^2 \quad (1.2)$$

donde:

η_0 : Eficiencia de la antena.

D_a : Diámetro de la antena (m).

G_{max} : Ganancia máxima de la antena.

c : Velocidad de la luz ($3 \cdot 10^8$ m/s).

f : Frecuencia del enlace.

Como ejemplo de todos estos parámetros se pueden dar los valores numéricos típicos para estaciones VSAT y hubs, hallando el valor máximo que puede alcanzar la PIRE y el valor real.

En la tabla 1.3 se observa como el PIRE real disminuye respecto a su valor máximo debido a las pérdidas en el alimentador y las pérdidas de desapuntamiento.

Tabla 1.3 Valores típicos de la PIRE para distintas estaciones

	hub grande	hub pequeño	VSAT	VSAT
Diámetro de la antena	10 m	3 m	1,8 m	1,2 m
Potencia del transmisor	100 W	10 W	1 W	1 W
PIRE máximo	81,1 dBW	61,6 dBW	46,2 dBW	42,7 dBW
Pérdidas del alimentador	0,1-0,3 dB	0,1-0,3 dB	0,1-0,3 dB	0,1-0,3 dB
Pérdidas de desapuntamiento	0,4-0,6 dB	1,7-3,1 dB	1,3-1,9 dB	1,0-1,4 dB
PIRE real.	80,2-80,6 dBW	58,2-59,8 dBW	44,0-44,8 dBW	41,0-41,6 dBW

1.6.2 El satélite

Un satélite geoestacionario tiene una órbita circular en el plano ecuatorial a una altura de 35 786 Km, de periodo igual al de rotación de la tierra, por lo que desde la tierra se le ve siempre en la misma posición. Por lo tanto el uso de satélites geoestacionarios es crucial para que el costo de los equipos VSAT sea bajo. Al ser geoestacionarios no es preciso que los equipos terrestres lleven un sistema de seguimiento. Durante la instalación del equipo se realiza el apuntamiento de la antena.

1.6.2.1 *Transponder del satélite*

Un satélite contiene varios *transponders*, cada uno capta una porción del espectro y contiene un haz que cubre una parte de la tierra debajo de él. La señal que llega es filtrada para separarla de otras señales e interferencias, se amplifica y se envía a una frecuencia más baja para ser retransmitida. El proveedor del servicio fijo del satélite que se usa para implementar redes VSAT proporciona un cierto número de canales dentro de un *transponder*. Estos pueden llegar a manejar de 10 a 15 redes de tamaño típico de 500 VSAT.

El ancho de banda dedicado a la red VSAT depende de:

1. Las tasas de bits por segundo (bps) que se deseen. La elección depende del tamaño de la antena del VSAT.
2. Del tipo de asignación del canal (TDMA, FDMA,...).

Conviene destacar que es posible asignar anchos de banda diferentes a los *inbound* y *outbound* con lo que se establecen enlaces asimétricos.

1.6.2.2 *El segmento espacial*

Un satélite requiere de una estación terrestre de seguimiento de forma que conjuntamente al satélite forman lo que se denomina el segmento espacial. El segmento espacial es el punto clave de una red VSAT:

- Es el único canal por donde se realiza la comunicación con las consiguientes ventajas y desventajas que ello conlleva.
- Es un canal compartido por lo que se necesita usar alguna técnica o protocolo de acceso al medio (FDMA, TDMA,...).

Es el único punto de la red que no puede ser manejado con total libertad por el instalador de una red VSAT. Deben ser contratadas a empresas o consorcios proveedores de capacidad espacial.

1.7 Fuentes de ruido

El ruido total a tener en cuenta en el enlace será debido a la suma de la contribución de cada una de las fuentes de ruido por separado, entre ellas tenemos:

- Ruido térmico.

Dentro de este grupo se pueden citar diversas fuentes de ruido:

- La Tierra, para las antenas del satélite.
- El cielo, para las antenas de las estaciones terrenas.
- Los propios componentes de los receptores.

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

- Ruido de intermodulación.

Cuando se usa un acceso del tipo TDMA no aparecen problemas de intermodulación, porque en cada intervalo de tiempo se amplifica una portadora. Ahora bien, cuando el acceso es del tipo FDMA, CDMA o un híbrido FDMA/TDMA aparecen los llamados productos de intermodulación, que originan señales a frecuencias iguales a la combinación lineal de las frecuencias usadas en las portadoras iniciales. Fundamentalmente se ha de tener en cuenta solamente los productos de intermodulación de tercer orden. Este ruido de intermodulación será caracterizado como un ruido blanco a la salida del *transponder*.

El ruido de intermodulación se produce al operar en modo no lineal. Lo que ocurre es que la potencia de salida del *transponder* se reparte no sólo entre las portadoras, sino también entre los productos de intermodulación. Este fenómeno es especialmente importante cuando se trabaja cerca de la zona de saturación.

1.8 Interferencias

Se define interferencia al hecho de que portadoras no deseadas entren en el equipo receptor junto con las portadoras deseadas. Las portadoras no deseadas perturban la demodulación actuando como un ruido que se suma al ruido térmico natural. Estas interferencias son un gran problema en los VSAT debido al reducido tamaño de la antena, que se traduce en un modelo de radiación con un gran ancho de haz.

Las interferencias pueden ser clasificadas en dos tipos:

- ❖ Interferencias propias: son interferencias producidas en receptores de la red por transmisores de la misma red, se producen debido a la reutilización de frecuencias y al filtrado imperfecto.
- ❖ Interferencias externas: son producidas por sistemas ajenos que utilizan la misma banda de frecuencia. Los sistemas interferentes más comunes son otros sistemas de satélites o incluso sistemas terrestres de microondas

1.8.1 Interferencia cocanal

Parte de la potencia de una portadora es capturada por un *transponder* o una estación terrena sintonizados a la frecuencia de una portadora adyacente. La causa de esta interferencia radica en un mal filtrado entre canales. En la figura 1.5 se muestra un esquema simplificado de lo que ocurre en este tipo de interferencia.

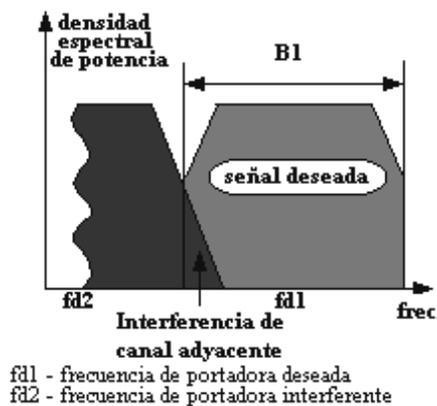


Figura 1.5 Interferencia cocanal

1.8.2 Interferencias debido a estaciones terrestres de microondas

La banda Ku y la banda Ka son de uso exclusivo para satélites, pero la banda C es utilizada también por radioenlaces terrestres de microondas. Cuanto más pequeña es la antena de la estación VSAT y más baja es la frecuencia utilizada, mayor es el ancho de haz y por tanto, mayor la posibilidad de interferencias terrestres.

La forma más adecuada de proteger una red de las interferencias es usar las técnicas de Espectro Extendido (*Spread Spectrum*), que consiste en ensanchar la portadora en un ancho de banda mucho más del requerido para transmitir la información. Sin embargo esta técnica usa un gran ancho de banda comparándolo con técnicas como FDMA o TDMA, las cuales son usadas en sitios donde no hay muchas interferencias. El cálculo de la interferencia producida en entornos ciudadanos es bastante complejo y por tanto, conviene tomar medidas antes de instalar el VSAT y hub.

1.8.3 Interferencia sobre otros sistemas

Es importante notar que si bien existen un gran número de casos en los que otros servicios han interferido con la operación VSAT; el único problema de interferencia conocido generado por las VSAT, hasta la fecha, ha sido la interferencia intersatelital (PIRE fuera de eje).

Este problema puede contrarrestarse mediante un equilibrio del diámetro de la antena, la forma del haz y la utilización del espectro extendido donde sea necesario. De todas maneras, es necesario coordinar las portadoras VSAT con otros servicios de banda C y Ku para evitar problemas de interferencia en la portadora.

1.9 Aplicaciones

En general las aplicaciones de las redes VSAT se pueden dividir en dos grandes grupos teniendo en cuenta el sentido en el que se desplaza del flujo de información en la red, estos pueden ser: unidireccionales y bidireccionales.

Aplicaciones unidireccionales:

- Transmisión de datos de las Bolsas de Valores.
- Difusión de noticias (teleimpresión, transmisión de fotografías y otros).
- Educación a distancia.
- Hilo musical (canales de audio programados).
- Transmisión de datos de una red de comercios.
- Distribución de tendencias financieras y análisis.
- Acceso a bases de datos multimedia.
- Teleconferencia de baja calidad.
- Educación.
- Gestión de almacenes.
- Información y promoción.
- Difusión comercial y televenta.
- Telemonitorización.

Aplicaciones bidireccionales:

- Telefonía
- Redes de servicios públicos como: gas, agua, electricidad, etc.
- Puntos de venta (control de existencias, autorización y verificación de crédito y cheques, índice de ventas y tendencias de compra, etc.).
- Telenseñanza.
- Sistemas de reservaciones (hoteles, alquiler de autos, aerolíneas etc.).
- Servicios de emergencia.
- Gestión de almacenes y distribución.
- Redes interactivas de datos para aplicaciones financieras.
- Consulta a bases de datos interactivos.
- Transacciones bancarias y control de tarjetas de crédito.
- Telemetría y telecontrol de procesos distribuidos.
- Periodismo electrónico.

- E-mail.
- Redes de datos Financieros: Bancos, cajeros automáticos, noticias financieras y negociación electrónica de valores.
- Telecomunicaciones rurales.
- Teleconferencia punto a punto
- Videoconferencias.
- Televisión corporativa.
- Aplicaciones de vídeo en general con integración de voz y/o datos.
- Interconexión de redes locales.
- Acceso a otras redes y sus aplicaciones como Internet e intranets.

CAPITULO II. DIMENSIONAMIENTO DE REDES VSAT

2.1 Introducción

El dimensionamiento de una red VSAT se basa en el cálculo previo al montaje de una serie de parámetros que sean capaces de describirla para asegurar un buen desempeño de la misma. Estos están basados en los recursos del satélite y los aspectos técnicos de las estaciones terrenas.

En factores como ancho de banda total que ocupará una red con topología en estrella y la descripción del desempeño del enlace de una estación terrena hasta el hub con el objetivo de garantizar la máxima disponibilidad ofrecida de este enlace estará centrado el desarrollo de este capítulo. Siguiendo ese fin, primeramente se realiza un estudio del comportamiento del enlace de RF.

2.2 Análisis del enlace de RF

Al usuario sólo le concierne la calidad del enlace en banda base, que es especificada en términos de relación potencia de señal a potencia de ruido (S/N) para señales analógicas y la tasa de error (BER, *Bit Error Rate*) para señales digitales. En transmisiones analógicas 50dB de (S/N) puede resultar un valor adecuado en ciertas aplicaciones, en transmisiones digitales, la BER típica es de 10^{-7} , esta tasa es suficiente para garantizar una calidad aceptable para comunicaciones de voz y vídeo.

La BER constituye un parámetro de vital importancia, debe ser reducida a valores mínimos en función de costes aceptables. La eliminación de los errores a nivel físico es imposible totalmente y deberá ser el nivel de enlace de datos el encargado de asegurar una transmisión libre de errores, por medio de los protocolos adecuados. La tasa de error (BER) depende de los parámetros siguientes:

- Tipo de modulación.
- Tipo de codificación.
- Relación portadora a ruido

La BER es función de la energía por bit de información (E_b) y de la densidad espectral de potencia (DEP) de ruido (N_o) en el total del enlace. La energía por bit de información se define como la energía acumulada en el receptor debido a la recepción de la potencia de portadora durante el intervalo de tiempo que conlleva la recepción de un bit de información, por tanto se tiene:

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{C/R_b}{N_{ot}} = \frac{(C/N_o)_t}{R_b} \quad (2.1)$$

donde:

C: Potencia de portadora.

R_b : Régimen binario.

La relación de E_b/N_o con la BER depende del tipo de modulación y del esquema de corrección de errores (FEC) usado. Se debe destacar, que el FEC no elimina por completo los errores, simplemente reduce la tasa de error.

2.2.1 Modulación de la señal

La modulación de la señal en las redes VSAT intenta equilibrar tres factores a fin de obtener la máxima velocidad de transmisión de datos con mínima interferencia y uso de la amplitud de banda:

Potencia de transmisión (que incluye la ganancia de la antena): Al aumentar la potencia de transmisión de una VSAT se puede aumentar la velocidad de transmisión de datos potencial, pero afecta los costos y aumenta el potencial de interferencia intersatelital (PIRE fuera de eje). Los transmisores en la mayoría de la VSAT de configuración en estrella actualmente están por debajo de los tres watts.

Espectro extendido: Normalmente es conveniente conservar los canales muy angostos y la modulación BPSK y QPSK se utilizan para promover los mismos. Se puede usar la técnica

de espectro extendido para proveer la velocidad de transmisión necesaria, sin afectar la PIRE.

Las técnicas de modulación deben considerarse en forma separada de las técnicas de uso compartido de canales, o técnicas de acceso. Las redes VSAT utilizan o han utilizado numerosas técnicas de acceso múltiple para compartir el ancho de banda *inroute* disponible entre las VSAT. Se incluyen en estas técnicas FDMA, CDMA, ALOHA y numerosas variantes de TDMA.

Ancho de Banda inroute: La efectividad del ancho de banda de transmisión puede ser incrementada por medio de decodificación, potencia o extensión del espectro. Sin embargo, el fin es aumentar la eficiencia general en transmisión, que consiste en el número de bits que un rango de frecuencia puede transportar dado una PIRE.

2.2.2 Fundamentos de la transmisión radioeléctrica

La gran mayoría de las redes VSAT utilizan satélites geoestacionarios. De acuerdo a las regulaciones de la UIT, los satélites se deben separar a una distancia de dos grados entre sí para evitar interferencias entre ellos, lo que equivale a una cantidad de 180 satélites operando en la órbita geoestacionaria.

Existen dos elementos que describen el comportamiento del *transponder* de un satélite en cuanto a potencia de transmisión y recepción: el *Input Back Off* (IBO) y el *Output Back Off* (OBO). El *transponder* debe trabajar en estado de saturación, por lo tanto en su entrada deberá existir un nivel de potencia que sea capaz de saturarlo para que en la salida de éste el nivel de potencia sea máximo. La razón entre la potencia de entrada para saturar el *transponder* (P_{IS}) y la potencia de entrada real que le está llegando (P_{IR}) es el IBO. El OBO es la razón entre la potencia máxima de salida (P_{oS}) y la real que esta transmitiendo el amplificador de salida (P_{oR}). Las expresiones son:

$$IBO = \frac{P_{iS}}{P_{iR}} \quad (2.2)$$

$$OBO = \frac{P_{oS}}{P_{OR}} \quad (2.3)$$

Muchas características de transmisión están basadas en los parámetros técnicos de los satélites y las estaciones terrenas. Los cálculos del enlace en las estaciones terrenas VSAT se fundamentan en la ecuación siguiente:

$$(C/N) = PIRE + (G/T) - K - B - L \quad (2.4)$$

donde:

PIRE: Potencia Isotrópica Radiada Equivalente

(G/T): Relación de ganancia-temperatura del sistema

K: Constante de Boltzman (-228,6 dB)

B: Ancho de banda.

L: Atenuación del trayecto

2.2.3 Análisis del enlace ascendente

En este epígrafe se describe la forma de calcular la relación potencia de señal portadora a densidad espectral de potencia de ruido en el enlace de subida de la estación terrena al satélite.

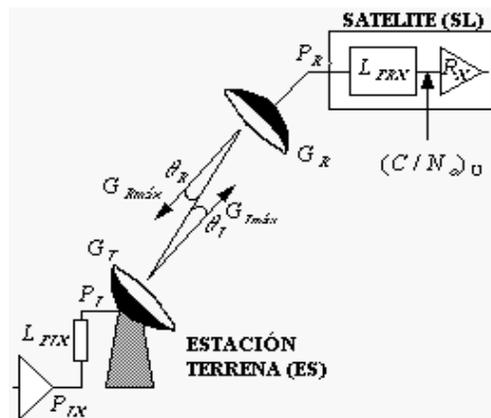


Figura 2.1 Enlace ascendente

Con la notación del esquema de la figura 2.1, resulta:

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_U = \frac{C_U}{N_{0U}} \tag{2.5}$$

donde:

C_U : es el nivel de portadora a la entrada del *transponder* del satélite.

$N_{0U} = KT_U$ (W/Hz) es la DEP de ruido referida a T_U (T de ruido del enlace de subida).

Para determinar más explícitamente esta relación en función de parámetros reales del sistema, se utilizarán conceptos tales como:

- Densidad de potencia a la entrada del satélite.
- PIRE de la estación de tierra.
- Pérdidas en el enlace de subida.
- Figura de mérito del equipo receptor del satélite.

Una vez estudiado, con más detalle todo el sistema, se llega a la conclusión de que la relación (C/N) en el enlace de subida producto al ruido térmico es:

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_U = \frac{P_T G_T(\theta_T)}{\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 L_{AU}} \left(\frac{G}{T}\right)_{SL} \frac{1}{K} \tag{2.6}$$

donde:

L_{AU} : son las pérdidas atmosféricas (lluvias, nubes...)

$\left(\frac{G}{T}\right)_{SL}$: Figura de mérito del equipo receptor de la estación satelital.

d : es la distancia estación terrena – satélite.

λ : es la longitud de onda de la portadora

El resto de los parámetros quedan bien reflejados en el esquema inicial.

2.2.3.1 Pérdidas debido al camino de subida

Las posibles pérdidas constituyen un elemento a tener muy en cuenta en el camino recorrido por la portadora en su enlace con el satélite. Debido a esto se producen una serie de pérdidas que podemos clasificar en dos tipos claramente diferenciadas:

$$L_U = L_{TSU} L_{AU} \quad (2.7)$$

donde:

L_U : pérdidas en el camino de subida.

L_{TSU} : pérdidas debido a la distancia del enlace ascendente.

L_{AU} : pérdidas atmosféricas en el enlace ascendente.

2.2.3.2 Pérdidas debido a la distancia:

Las pérdidas debido a la distancia tienen como parámetros más importantes la distancia estación terrena-satélite y la frecuencia a la que se produce la transmisión. El cálculo de la distancia al satélite desde la estación transmisora es un elemental ejercicio de trigonometría conociendo la posición sobre la Tierra de la estación terrena y el punto donde se encuentra el satélite. Las pérdidas por este aspecto vienen dadas por:

$$L_{TSU} = \left(\frac{4\pi df}{c} \right)^2 = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad (2.8)$$

2.2.3.3 Pérdidas atmosféricas:

Las pérdidas atmosféricas que sufren las portadoras de radiofrecuencia son debido al carácter gaseoso de la troposfera, a la lluvia, la nieve, las nubes, y a la ionosfera. El agua juega un papel importantísimo en la banda Ka, ya que a 22.34 GHz se produce el fenómeno de absorción, que provoca grandes atenuaciones. Las pérdidas atmosféricas pueden ser divididas en dos grupos:

➤ Pérdidas en condiciones de cielo despejado:

Están siempre presentes, son función de la frecuencia utilizada y del ángulo de elevación con el que se ve el satélite, para ángulos bajos, el camino recorrido por la portadora en la atmósfera es mayor. Por ejemplo, para ángulos de elevación mayores de 10 grados, la atenuación en banda C es despreciable, en banda Ku menor de 0,5 dB y en banda Ka menor de 1 dB.

➤ Pérdidas en presencia de lluvia:

Estas pérdidas se tabulan estadísticamente en función de las medias de lluvias en mm/h. El mundo se encuentra dividido en regiones en función del porcentaje de lluvia, de modo que en el lugar donde se quiera instalar la estación se tenga una visión previa de las posibles pérdidas debido a este factor. Esto se encuentra especificado en gráficas que pueden usarse para encontrar las atenuaciones superadas para porcentajes de lluvia dados.

2.2.4 Análisis del enlace descendente

La figura 2.2 muestra el enlace de bajada del satélite a la estación terrena encargada de la recepción. La relación potencia de portadora a DEP de ruido en el enlace está dada por:

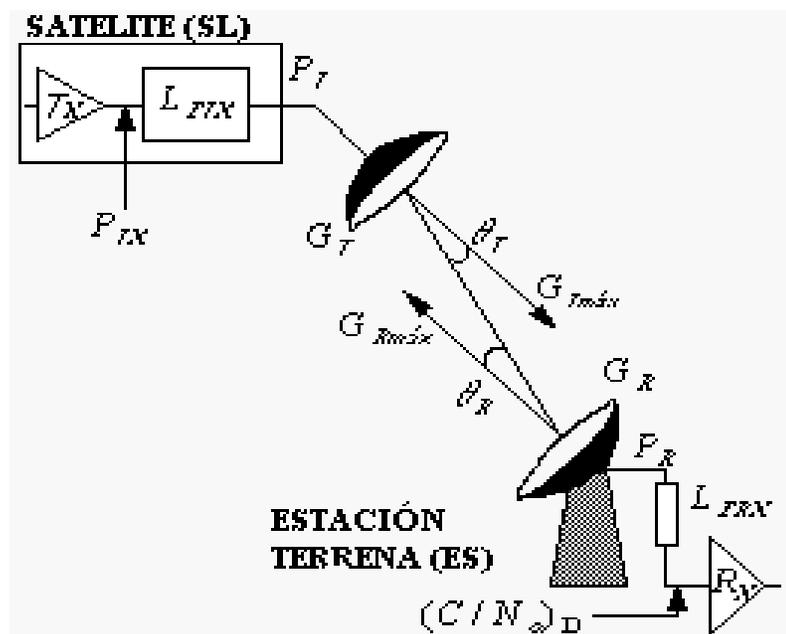


Figura 2.2 Enlace descendente

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_D = \frac{C_D}{N_{0D}} \quad (2.9)$$

donde:

C_D : es el nivel de portadora a la entrada del receptor de la estación terrena.

$N_{0D}=KT_D$ (W/Hz): es la DEP de ruido referida a T_D (T de ruido del enlace de bajada).

Se puede expresar esta relación en función del OBO por portadora y de la relación portadora a densidad espectral de potencia (C/N) obtenida en saturación del *transponder* como:

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_D = OBO \left(\frac{C}{N_0}\right)_{Dsat} \quad (2.10)$$

donde:

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_{Dsat} = PIRE_{SLsat} \frac{1}{L_D} \left(\frac{G}{T}\right)_{ES} \frac{1}{k} \quad \text{Es el valor en saturación del } transponder. \quad (2.11)$$

$\left(\frac{G}{T}\right)_{ES}$: Figura de mérito del equipo receptor de la estación terrena.

$PIRE_{SLsat}$: PIRE del satélite cuando opera en saturación.

L_D : Pérdidas en el enlace de bajada

2.2.4.1 Pérdidas debido al camino de bajada

Debido al camino recorrido por la portadora desde el satélite a la superficie terrestre se producen una serie de pérdidas que podemos dividir en dos tipos:

$$L_D = L_{TSD} L_{AD} \quad (2.12)$$

donde:

L_{TSD} : pérdidas debido a la distancia del enlace descendente.

L_{AD} : pérdidas atmosféricas en el enlace descendente.

2.2.4.2 Las pérdidas debido a la distancia:

Tienen como parámetros más importantes la distancia satélite-estación terrena y la frecuencia a la que se produce la transmisión. El cálculo de la distancia se realiza de forma similar al enlace ascendente y las pérdidas vienen dadas por:

$$L_{TSD} = \left(\frac{4\pi d f}{c} \right)^2 = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad (2.13)$$

2.2.4.3 Las pérdidas atmosféricas:

Sucede igual que en el enlace ascendente y también se dividen en dos grupos:

- Pérdidas en condiciones de cielo despejado:

Al igual que en el enlace ascendente están siempre presentes y siempre deben ser tomadas en cuenta. Dependen de la frecuencia utilizada y del ángulo de elevación con el que se ve el satélite.

- Pérdidas en presencia de lluvia:

Sucede igual que en el enlace ascendente se dan en función de las medias de lluvias en mm/h y depende de la zona geográfica en que se vaya a colocar la estación.

2.3 Análisis del enlace satelital estación VSAT-hub

Al diseñar un enlace satelital existen diversos factores ajenos al hombre (lluvia, nieve, nubes,...etc.) que pueden afectar la relación potencia de portadora a DEP de ruido (C/N_o) que se requiere a la entrada del demodulador de la estación receptora para lograr una conexión efectiva.

Por esta razón y para garantizar una alta disponibilidad del enlace se debe dejar un margen entre la relación (C/N_o) que requiere el receptor y la (C/N) que le llega a través del enlace de RF, figura 2.3. Esto permitirá que si en un cierto periodo de tiempo (Δt) el enlace es

afectado por la presencia de lluvia u otro factor exista una alta probabilidad de mantener el funcionamiento del mismo.

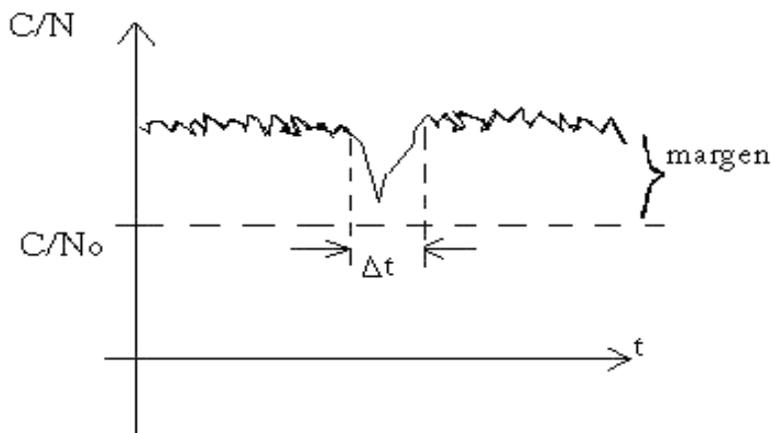


Figura 2.3 Variación temporal de C/N en el enlace

Para describir el desempeño del enlace satelital desde una estación VSAT remota hasta el hub, dicho enlace debe ser analizado en dos partes: enlace ascendente y enlace descendente. En ambos casos se deben dominar una serie de parámetros técnicos tanto de las estaciones terrenas como del satélite para que en el posterior diseño de la red se reflejen los resultados obtenidos en el cálculo.

2.3.1 Parámetros necesarios para el cálculo del enlace

Dentro de los principales parámetros que se deben conocer para comenzar un cálculo que sea capaz de describir el desempeño de un enlace entre una VSAT y el hub, están aquellos que se extraen del equipamiento y la tecnología utilizada una vez que estos han sido configurados.

El tipo de modem y modulación, número de portadoras utilizadas (N_u), razón de bit de información (R_i), razón de codificación (FEC), factor de extensión (*spreading factor*), razón de transmisión (R_t), las frecuencias de subida y bajada del enlace, el porcentaje de disponibilidad que se le ofrece al usuario en el año (*end to end availability %*) están entre los principales elementos a conocer. También son de vital importancia la BER, así como la razón entre la energía por bit de información y la DEP de ruido requerida en el receptor para el enlace (E_b/N_o).

Además del dominio de parámetros del satélite utilizado como: tipo de satélite, localización, figura de mérito $(G/T)_{SL}$, PIRE en saturación $(PIRE_{SLsat})$, densidad de flujo de saturación (d_{fs}) , ancho de banda utilizado (BW_s) ; es necesario conocer de las estaciones terrenas la latitud, longitud, diámetro de las antenas, si se usó o no sistema de *tracking* (seguimiento).

Del sitio transmisor en este caso la VSAT, la ganancia de transmisión (G_{Tx}) , las pérdidas de las guías de onda (L_g) , potencia del amplificador (P_T) , la PIRE $(PIRE_{Tx})$ y en que zona lluviosa está enmarcada la estación terrena.

Del sitio receptor (hub) se necesita la ganancia de recepción (G_{Rx}) , las pérdidas (L_{Rx}) , la temperatura de ruido de la antena (T_{RA}) y la temperatura de los amplificadores de bajo ruido (T_{LNA}) .

Otros datos son: margen de implementación del modem (M_m) , margen con cielo despejado (M_{cs}) , el tiempo de reuso de frecuencia (T_{rf}) y el *Input Back Off* (IBO) y el *Output Back Off* (OBO) del satélite.

2.3.2 Primeros cálculos para describir el desempeño del enlace

El primer factor a calcular es la razón entre la potencia de la portadora y la DEP de ruido (C/N_o) que se requiere en el receptor para que se efectúe el enlace. Se realiza mediante la siguiente expresión:

$$\frac{C}{N_o} (dB) = \frac{E_b}{N_o} (dB) + 10 \log(R_i (bps)) + M_m (dB) \quad (2.14)$$

Otros cálculos necesarios son:

- PIRE en saturación de la estación transmisora, $PIRE_{STx}$:

$$PIRE_{STx}(dBW) = G_{Tx}(dB) + L_g(dB) + 10 \log(P_T(W)) \quad (2.15)$$

- Factor de interferencia de polarización cruzada en dB:

$$33(dB) - 20 \log(T_{rf}) \quad (2.16)$$

- Distancia entre las estaciones terrenas y el satélite, d :

$$d(Km) = 42,727 \times 10^3 \times \sqrt{1 - 0,29521 \cos \Delta \theta \cos \theta} \quad (2.17)$$

Los ángulos θ y $\Delta \theta$ se obtienen más adelante.

- Ángulos de elevación (EL°) y azimut (Az°) de las estaciones terrenas:
Se obtienen más adelante.

2.3.3 Desempeño del enlace ascendente

El análisis del *uplink* desde la VSAT hasta el satélite se realizará primeramente para condiciones de cielo despejado y posteriormente cuando existe desvanecimiento por lluvia. El objetivo de este análisis es obtener la razón entre la potencia de la portadora y la DEP de ruido en el camino de subida, $(C/N_o)_U$:

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_U \text{ (dBHz)} = PIRE_{Tx} \text{ (dBW)} + \left(\frac{G}{T}\right)_{SL} \left(\frac{dB}{K}\right) - L_{TSU} \text{ (dB)} - L_{AU} \text{ (dB)} + 228,6 \quad (2.18)$$

Para ello es preciso calcular una serie de parámetros:

- Pérdidas en el trayecto de subida , L_{TSU} :
Estas pérdidas se obtienen mediante la ecuación (2.8).
- Pérdidas adicionales en el *uplink*, L_{AU} :
Dentro de este grupo se encuentran la atenuación atmosférica y las pérdidas por apuntamiento.

2.3.4 Punto de operación del *transponder*

El *transponder* de un satélite está caracterizado por una serie de parámetros en el momento en que se está efectuando el enlace:

- Potencia de la portadora a la entrada del *transponder*.

$$C \text{ (dBW)} = PIRE_{Tx} \text{ (dBW)} - L_{TSU} \text{ (dB)} - L_{AU} \text{ (dB)} \quad (2.19)$$

- Densidad de flujo que le llega al *transponder*.

$$d_f \text{ (dBW/m}^2\text{)} = C \text{ (dBW)} + 21.48 + 20 \log(f_{up} \text{ (GHz)}) \quad (2.20)$$

- IBO real a la entrada del *transponder*.

$$IBO_c \text{ (dB)} = d_{fs} \text{ (dBW/m}^2\text{)} - d_f \text{ (dBW/m}^2\text{)} \quad (2.21)$$

- OBO real a la salida del *transponder*.

$$OBO_c(\text{dB})=IBO_c(\text{dB})+OBO(\text{dB}) -IBO (\text{dB}) \quad (2.22)$$

- PIRE real de salida del satélite.

$$PIRE_s(\text{dBW})=PIRE_{SLsat}(\text{dBW})- OBO_c(\text{dB}) \quad (2.23)$$

donde:

f_{up} : frecuencia del enlace de subida

2.3.5 Desempeño del enlace descendente

Como en el enlace ascendente el objetivo aquí es obtener la relación potencia de la portadora entre la DEP de ruido, pero ahora en el camino de bajada.

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_D (\text{dBHz}) = PIRE_s(\text{dBW}) + \left(\frac{G}{T}\right)_{ES} \left(\frac{\text{dB}}{\text{K}}\right) - L_{TSD}(\text{dB}) - L_{AD}(\text{dB}) + 228,6 \quad (2.24)$$

donde:

L_{TSD} : se obtiene mediante la ecuación (2.13).

L_{AD} : Dentro de este grupo se encuentran la atenuación atmosférica y las pérdidas por apuntamiento.

$(G/T)_{ES}$: Figura de mérito en el receptor. Este es un término que está en función de los siguientes parámetros del receptor: ganancia (G_{Rx}), pérdidas (L_{Rx}), la temperatura de ruido de la antena (T_{RA}) y la temperatura de los amplificadores de bajo ruido (T_{LNA}).

$$\left(\frac{G}{T}\right)_{ES} \left(\frac{\text{dB}}{\text{K}}\right) = G_{Rx} + L_{Rx} - 10 \log(T_{LNA} + (1 - 10^{0.1 \times L_{Rx}}) \times 290 \times 10^{0.1 \times L_{Rx}} + 3,5 + T_{RA} \times 10^{0.1(L_{Rx}-0.05)}) \quad (2.25)$$

2.3.6 Composición del enlace

En la composición del enlace se obtienen los resultados finales que describirán el enlace. La razón entre la potencia de la portadora y la DEP de ruido total, el margen que posee el enlace así como la profundidad del mismo, son los elementos que se determinan.

La razón $(C/N_o)_t$ total del enlace se calcula de forma similar a como se obtiene la resistencia total cuando existen dos resistencias en paralelo. De esta forma, con los valores del *uplink* y *downlink* se tiene:

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_t^{-1} = \left(\frac{C}{N_o}\right)_U^{-1} + \left(\frac{C}{N_o}\right)_D^{-1} \quad (2.26)$$

$$M_R = \left(\frac{C}{N_o}\right)_t (dBHz) - \frac{C}{N_o} (dB) \quad (2.27)$$

$$M_D = \left(\frac{C}{N_o}\right)_t (dBHz) - \frac{C}{N_o} (dB) - M_{CS} (dB) \quad (2.28)$$

donde:

$\left(\frac{C}{N_o}\right)_t$: es la relación entre la potencia de la portadora y la DEP de ruido en todo el enlace.

M_R : Margen del enlace.

M_D : Profundidad del margen.

Mientras mayor sea el margen más probabilidad existe para que se efectúe el enlace en condiciones climáticas desfavorables. Esto no es tan fácil, depende de muchos factores, principalmente de los recursos en cuanto a potencia del transmisor. Lo ideal es aplicar métodos de optimización que aumenten la relación señal a ruido sin necesidad de aumentar la potencia de transmisión ni subir el costo del equipamiento. Esto es especialmente recomendable para la adquisición de esta tecnología por países en vías de desarrollo.

2.3.6.1 Margen del enlace en presencia de lluvia

El desvanecimiento por lluvia es un tipo de desvanecimiento que ocurre en sistemas radioeléctricos que operan por encima de 10 GHz, donde las gotas de lluvia absorben energía radioeléctrica y producen ruido térmico adicional. Debido a la variabilidad de la

presencia o no de lluvia, la potencia recibida presenta variaciones que deben ser compensadas de alguna manera.

Este tipo de atenuación actúa como un elemento aditivo a las pérdidas en el camino recorrido por la portadora, lo que afecta el comportamiento general del enlace. El método para calcular $(C/N_o)_t$ que se utiliza es el mismo con la única diferencia que dentro de las pérdidas adicionales se incluye el desvanecimiento por lluvia ($A_{p\%}$).

La profundidad del margen con que contará un enlace, cuando esté en presencia de lluvia, será el margen del mismo menos el desvanecimiento por lluvia. Este tipo de atenuación se obtendrá por el método de la UIT-R.

2.4 Direccionamiento de las antenas

Varias tecnologías han sido desarrolladas para apuntar las antenas receptoras a uno o varios satélites geoestacionarios, dependiendo del tipo de montaje se pueden dividir en dos grupos principales, son ellos: Antena biaxial (emplean montaje por azimut-elevación) y antenas uniaxiales (emplean montaje tipo polar).

En el caso de antenas biaxiales tanto el azimut (Az°) como la elevación (EL°) deben ser ajustados en la dirección del máximo de radiación. El montaje polar ha sido usado en las antenas parabólicas de los sistemas de banda C cuando se ha requerido el barrido de un segmento de la órbita geoestacionaria. El ejemplo que se describe utiliza montaje por azimut-elevación.

Ángulos de Azimut y Elevación

El azimut se define desde el norte geográfico, (ver figura 2.4) mientras el norte magnético es el dado por una brújula colocada en ese lugar y la diferencia es la declinación magnética cuyo valor depende de la localización y del año. El ángulo de elevación debe ser medido

desde el horizonte, que es definido por el plano horizontal local. Una vez que se ha realizado la primera aproximación, se necesita refinar el apuntamiento para maximizar la potencia recibida desde el satélite.

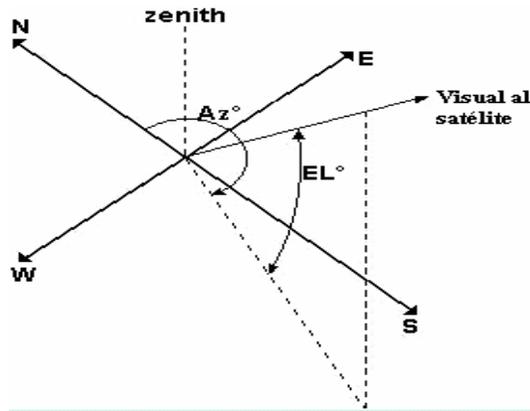


Figura 2.4 Ángulos de azimut y elevación

Se puede demostrar que los ángulos de elevación y azimut se expresan como:

$$EL^\circ = \tan^{-1} \left[\frac{\cos \Delta\phi \cos \theta - 0,1513}{\sqrt{1 - (\cos \Delta\phi)^2 (\cos \theta)^2}} \right] \quad (2.29)$$

$$Az^\circ = 180^\circ - \tan^{-1} \left(\frac{\tan \Delta\phi}{\sin \theta} \right) \quad (2.30)$$

donde:

θ : latitud de la estación terrena.

ϕ_T : longitud de la estación terrena.

ϕ_S : posición orbital del satélite.

Las latitudes Norte y las longitudes Este, serán consideradas con signo positivo; las latitudes Sur y las longitudes Oeste, serán consideradas con signo negativo, en el momento de determinar los diferentes parámetros. Se define $\Delta\phi$ como:

$$\Delta\phi = \phi_S - \phi_T \quad (2.31)$$

2.5 Procedimiento para el cálculo del ancho de banda

Existen una serie de requerimientos necesarios que deben ser conocidos para calcular el ancho de banda del *transponder* del satélite empleado por una red VSAT; requerimientos tales como: número de computadoras a los que se deben dar servicio de conectividad, velocidad mínima para el acceso, tanto *inbound* como *outbound*, factor de reuso permitido y la máxima cantidad de remotas. Se tendrá en cuenta la existencia de varios tipos de servicios de conectividad ofrecidos.

El ancho de banda se dividirá en dos porciones, una para el enlace *outbound* y otra para el *inbound*. El satélite deberá ser evaluado para el caso más crítico donde todas las remotas tengan acceso simultáneo para asegurar la calidad del enlace en cualquier momento. El esquema de acceso utilizado es el mostrado en la figura 2.5.

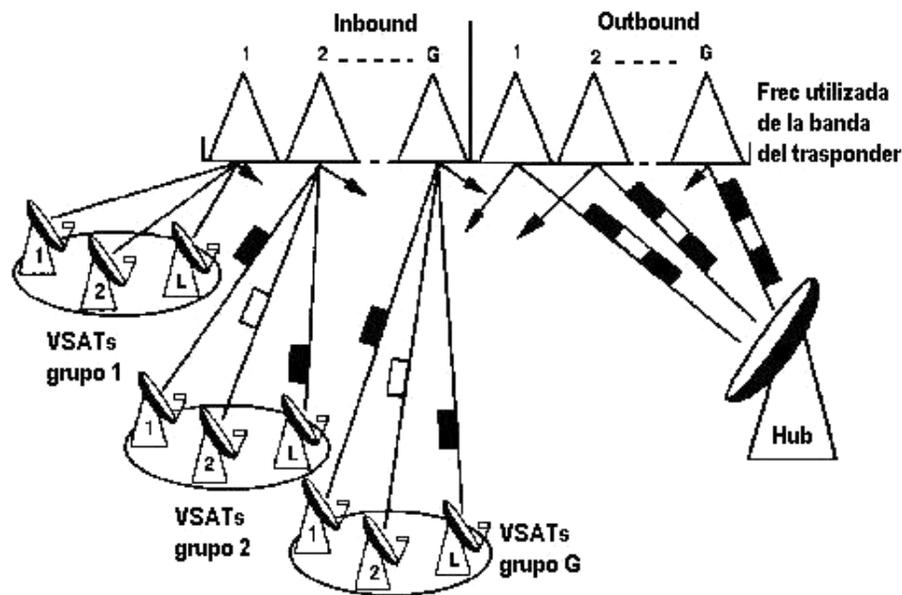


Figura 2.5 Esquema de acceso

Obsérvese que en el enlace *inbound* cada grupo comparte la misma banda de frecuencias (FDMA) y accede al satélite mediante TDMA. La banda *inbound* está ocupada por G portadoras. En el *outbound* los canales que transmite el hub se multiplexan en el tiempo.

2.5.1 Capacidad total del enlace

La capacidad total del enlace tanto *outbound* como *inbound* es el primer factor a calcular. Para el enlace *inbound* también conocido como *upstream* se realiza de la siguiente forma:

$$C_{u1} = I \times V_r \quad (2.32)$$

$$C_{ut} = C_{u1} + C_{u2} + \dots + C_{uj} \quad (2.33)$$

donde:

C_{u1} : es la capacidad del enlace *inbound* para un tipo de servicio de conectividad.

I : Número de remotas para un mismo tipo de servicio.

V_r : Velocidad *inbound*, pero con reuso ya que todos acceden a la vez.

C_{ut} : Capacidad total del enlace *inbound* para más de un tipo de servicio.

j : cantidad de servicios de conectividad ofrecidos.

Para el caso del enlace *outbound* también conocido como *downstream* el cálculo se realiza de la misma forma, tomando siempre los datos de velocidades que le corresponden.

2.5.2 Enlace *upstream*

Para este tipo de enlace es necesario conocer el tipo de modem que va a ser utilizado así como los parámetros que lo caracterizan: razón de símbolo (R_s), tipo de modulación, razón de codificación (FEC), porcentaje que representa la cabecera (overhead), factor de caída del filtro (roll-off) y si se utiliza o no Reed-Solomon.

Con los datos anteriores se pueden obtener los siguientes parámetros del enlace:

$$V_t = R_s \times N_b \quad (2.34)$$

$$V_d = V_t \times FEC \text{ (se tendrá en cuenta la presencia o no del Reed-Solomon).} \quad (2.35)$$

$$V_i = V_d \times P_i \quad (2.36)$$

$$BW = R_s \times (\text{Roll-off}) \quad (2.37)$$

donde:

V_t : Velocidad de transmisión.

N_b : Número de bit por símbolo para los distintos tipos de modulación.

V_d : Velocidad de datos.

V_i : Velocidad de información.

P_i : Porcentaje de los bits que son de información eliminando la cabecera.

BW : Ancho de banda por portadora.

Para el ancho de banda total en el enlace *inbound* será necesario conocer el número de portadoras utilizadas en el mismo. Esto se obtiene de la siguiente forma:

$$N_u = \frac{C_{ut}}{V_i} \quad (2.38)$$

$$BW_{ut} = N_u \times BW \quad (2.39)$$

donde:

N_u : Número de portadora en el enlace *upstream*.

BW_{ut} : Ancho de banda total en el enlace *upstream*.

2.5.3 Enlace *downstream*

Para este tipo de enlace se puede partir del criterio de utilizar una portadora *downstream* por cada seis *upstream*. Después de ser escogida la cantidad de portadoras se realiza un análisis similar al del enlace *upstream* para el cálculo del ancho de banda *outbound*.

$$N_d = \frac{N_u}{6} \quad (2.40)$$

donde:

N_d : Número de portadoras en el enlace *downstream*.

Será necesario comprobar que la velocidad de información en este enlace, teniendo en cuenta todas las portadoras (N_d), supere a la capacidad mínima total del enlace *outbound* descrita anteriormente.

2.5.4 Ancho de banda total ocupado por la red

A partir de las condiciones expuestas con anterioridad para cada uno de los enlaces, *inbound* y *outbound*, se pueden definir los requerimientos totales de ancho de banda en el *transponder* simplemente por la suma algebraica de los requerimientos para cada caso.

$$BW_t = BW_{ut} + BW_{dt} \quad (2.41)$$

donde:

BW_t : Ancho de banda total en el *transponder*.

BW_{dt} : Ancho de banda total en el enlace *downstream*.

Siguiendo esta metodología y teniendo los datos necesarios se podrá calcular el ancho de banda que requiere una red VSAT que se vaya a implementar.

CAPITULO III. EJEMPLO DE DIMENSIONAMIENTO DE REDES VSAT

3.1 Introducción

La validación de los procedimientos descritos en el capítulo anterior es la idea central que sustenta el desarrollo de este capítulo. Para ello se utiliza un ejemplo claramente detallado, mediante el cual se espera que el lector comprenda con más claridad lo antes expuesto y se realiza una comparación de estos resultados con los obtenidos con la aplicación del software.

Se tomaron localidades de Cuba donde existen estaciones VSAT y los aspectos técnicos de dos modem usualmente utilizados por redes de este tipo. Se muestra todo lo relacionado con el enlace radioeléctrico descrito por la señal portadora hasta obtener el margen que posee el enlace. Después se realiza el dimensionamiento del ancho de banda en una red en términos de las tasas binarias requeridas para ofrecer tres tipos de servicios de conectividad diferentes. Estos mismos aspectos son tomados en cuenta para la obtención de los resultados con el empleo del software.

3.2 Cálculo del margen del enlace

El elemento esencial es la descripción de como se obtiene el margen que presenta un enlace *inbound* que va desde una estación remota ubicada en Santa Clara con el hub ubicado en Cojímar, Ciudad de la Habana. Con ello se mostrará si los aspectos técnicos escogidos para las estaciones terrenas y los recursos del satélite cumplen con los requerimientos para la disponibilidad ofrecida. Se aborda, primeramente, un cálculo en condiciones de cielo despejado y después se concibe el mismo ejemplo teniendo en cuenta el desvanecimiento por lluvia.

3.2.1 Aspectos técnicos y configuración de las estaciones

La configuración de las estaciones terrenas, su localización exacta así como los aspectos técnicos de las mismas son expuestos en las tablas 3.1 y 3.2, anexo 3.1. Los recursos del satélite utilizado, en este caso el Intelsat 706 y las propiedades más significativas de la señal portadora se muestran en las tablas 3.3 y 3.4 del anexo 3.2.

3.2.2 Cálculo del margen del enlace en condiciones de cielo despejado

Teniendo en cuenta los datos ofrecidos en los anexos 3.1 y 3.2 y siguiendo las orientaciones del capítulo anterior, el primer paso es obtener la (C/N_o) que se requiere a la entrada del receptor para que se efectúe el enlace. Para ello se utiliza la ecuación (2.14), tomando un valor típico de margen de implementación del modem (M_m) de 0,5 dB.

$$\frac{C}{N_o} \text{ (dB)} = 6 + 10 \log(136 \times 10^3) + 0,5 = 57,8 \text{ dB}$$

Se usa la ecuación (2.16) para calcular el factor de interferencia de polarización cruzada. Se toma un valor típico de tiempo de reuso de frecuencia (T_{rf}) =2.

$$33(\text{dB}) - 20\log(2) = 27 \text{ dB.}$$

Enlace VSAT-Satélite

Los ángulos de EL° y Az° para la estación VSAT ubicada en el territorio de Santa Clara son el resultado de las ecuaciones (2.29) y (2.30) respectivamente. El término $\Delta\phi$ se obtiene mediante la ecuación (2.31).

$$\Delta\phi = 307 - (-80) = 27^\circ$$

$$EL^\circ = \tan^{-1} \left[\frac{\cos 27^\circ \cos 22^\circ - 0,1513}{\sqrt{(1 - (\cos 27^\circ)^2)(\cos 22^\circ)^2}} \right] = 50,14^\circ$$

$$Az^\circ = 180^\circ - \tan^{-1} \left(\frac{\tan 27^\circ}{\sin 22^\circ} \right) = 126,32^\circ$$

La distancia entre la VSAT y el satélite mediante (2.17) es:

$$d(\text{Km}) = 42,727 \times 10^3 \times \sqrt{1 - 0,29521 \cos 27^\circ \cos 22^\circ} = 37\ 153,31 \text{ km.}$$

Las pérdidas en todo el enlace, calculadas en dB, son consecuencia de la suma algebraica de los distintos elementos que causan estas atenuaciones en la señal. Se toman en cuenta atenuaciones debido a la distancia, atenuaciones atmosféricas, las cuales tomarán un valor típico de 0,5 dB como se ha explicado anteriormente y las pérdidas por apuntamiento que

se considerarán como 0,1 dB. La atenuación debido al camino de subida se calcula mediante la ecuación (2.8) que llevada dB es:

$$L_{TSU} \text{ (dB)} = 20\log(f(\text{MHz})) + 20\log(d(\text{Km})) + 32,4 \quad (3.1)$$

$$L_{TSU} \text{ (dB)} = 20\log(14\ 000) + 20\log(37\ 153,31) + 32,4 = 206,7 \text{ dB}$$

Por tanto, en el *uplink*:

$$L_U = 206,7 + 0,5 + 0,1 = 207,3 \text{ dB}$$

Es necesario que el transmisor trabaje en estado de saturación para que ofrezca la mayor potencia posible. La PIRE del transmisor en estado de saturación se calcula mediante la ecuación (2.15).

$$PIRE_{STx}(\text{dBW}) = 43 - 0,5 + 10\log(2) = 45,5 \text{ dBW}$$

Después de haber obtenido la mayor PIRE posible en el transmisor, se busca la C/N_o en el enlace de subida.

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_U \text{ (dBHz)} = 45,5 + 3,8 - 207,3 + 228,6 = 70,6 \text{ dBHz}$$

Punto de operación del transponder

Los valores que caracterizan al *transponder* se obtienen mediante las ecuaciones (2.19) a (2.23). Sus valores son:

$$C(\text{dBW}) = 45,5 - 207,3 = -161,8 \text{ dBW}$$

$$d_f(\text{dBW/m}^2) = -161,8 + 21,48 + 20\log(14) = -117,4 \text{ dBW/m}^2$$

$$IBO_c(\text{dB}) = -87 - (-117,4) = 30,4 \text{ dB}$$

$$OBO_c(\text{dB}) = 30,4 + 3,5 - 5,4 = 28,5 \text{ dB}$$

$$PIRE_s(\text{dBW}) = 45 - 28,5 = 16,5 \text{ dBW}$$

Enlace Satélite-hub

Los ángulos de EL° y Az° del hub ubicado en el territorio de la Habana, específicamente en Cojimar, así como la distancia entre éste y el satélite son:

$$\Delta\phi = 307 - (-82) = 29^\circ$$

$$EL^\circ = \tan^{-1} \left[\frac{\cos 29^\circ \cos 23^\circ - 0,1513}{\sqrt{(1 - (\cos 29^\circ)^2 (\cos 23^\circ)^2)}} \right] = 47,78^\circ$$

$$Az^\circ = 180^\circ - \tan^{-1} \left(\frac{\tan 29^\circ}{\sin 23^\circ} \right) = 125,18^\circ$$

$$d(\text{Km}) = 42,727 \times 10^3 \times \sqrt{1 - 0,29521 \cos 29^\circ \cos 23^\circ} = 37\,305,56 \text{ km}$$

Las pérdidas en el *downlink* se obtienen de la misma forma que en *uplink*, se consideran igualmente la atenuación atmosférica y las pérdidas de apuntamiento con valores típicos de 0,5 dB y 0,1 dB respectivamente. La atenuación debido al camino de bajada es:

$$L_{\text{TSD}} (\text{dB}) = 20 \log (12\,000) + 20 \log (37\,305,56) + 32,4 = 205,4 \text{ dB}$$

La relación ganancia de recepción a temperatura del sistema en el receptor $(G/T)_{\text{ES}}$ se obtiene de la ecuación (2.25).

$$\left(\frac{G}{T} \right)_{\text{ES}} \left(\frac{\text{dB}}{\text{K}} \right) = 53,5 - 0,1 - 10 \log (160 + (1 - 10^{0,1 \times (-0,1)}) \times 290 \times 10^{0,1 \times (-0,1)} + 3,5 + 33 \times 10^{0,1 \times ((-0,1) - 0,05)})$$

$$\left(\frac{G}{T} \right)_{\text{ES}} \left(\frac{\text{dB}}{\text{K}} \right) = 30,35 \text{ dB/K}$$

La C/N_0 en el enlace de bajada mediante la expresión (2.24) es:

$$\left(\frac{C}{N_0} \right)_D (\text{dBHz}) = 16,5 + 30,35 - 206 + 228,6 = 69,45 \text{ dBHz}$$

Composición del enlace

La relación $(C/N_0)_t$ total que está a la entrada del receptor del hub está dada por expresión (2.26); este cálculo no se puede hacer en dB, recordar que el dB no es un término lineal.

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_t^{-1} = \left(\frac{C}{N_0}\right)_U^{-1} + \left(\frac{C}{N_0}\right)_D^{-1}$$

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_t^{-1} = (11\ 481\ 536,2)^{-1} + (8\ 810\ 488,7)^{-1} = 2,006 \cdot 10^{-7}$$

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_t = 4\ 985\ 108,5$$

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_t \text{ (dB)} = 10\log(4\ 985\ 108,5) = 67 \text{ dB}$$

El margen de desvanecimiento y la profundidad del margen con que cuenta el enlace se obtienen de las expresiones (2.27) y (2.28). Se toma una atenuación con cielo despejado de 2 dB.

$$M_R = 67 \text{ (dB)} - 57,8 \text{ (dB)} = 9,2 \text{ dB}$$

$$M_D = 67 \text{ (dB)} - 57,8 \text{ (dB)} - 2 \text{ (dB)} = 7,2 \text{ dB}$$

3.2.3 Cálculo del margen del enlace en presencia de desvanecimiento por lluvia

Este método para obtener el desvanecimiento por lluvia puede ser utilizado para propósitos generales de planificación. El procedimiento, paso a paso es como sigue:

- a) Localizar mediante el mapa de zonas lluviosas la zona que le corresponde al terminal terreno. Zona(A, B, C, D,....., Q). Ver el mapa en el anexo 3.3.

Santa Clara, zona N

- b) Obtener la intensidad de lluvia en el territorio, $R_{0,01}$; en mm/h en la tabla 3.5 y para el 0,01 % de interrupción del servicio promedio anual.

Tabla 3.5 Intensidad de lluvia

Porcentaje de tiempo (%)	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q
1,0	0,1	0,5	0,7	2,1	0,6	1,7	3	2	8	1,5	2	4	5	12	24
0,3	0,8	2	2,8	4,5	2,4	4,5	7	4	13	4,2	7	11	15	34	49
0,1	2	3	5	8	6	8	12	10	20	15	12	22	35	65	72
0,03	5	6	9	13	12	15	20	18	28	23	33	40	65	105	96
0,01	8	12	15	19	22	28	30	32	35	42	60	63	95	145	115
0,003	14	21	26	29	41	54	45	55	45	70	105	95	140	200	142
0,001	22	32	42	42	70	78	65	83	55	100	150	120	180	250	170

$R_{0,01} = 95 \text{ mm/h}$

- c) Estimar la altura de la isoterma de 0° C durante condiciones de lluvia, (h_{FR}), utilizando

$$h_{FR} = \begin{cases} 5 - 0,075(\theta - 23) & \text{for } \theta > 23 \text{ NH} \\ 5 & \text{for } 0 \leq \theta \leq 23 \text{ NH} \\ 5 & \text{for } 0 \geq \theta \geq -21 \text{ SH} \\ 5 + 0,1(\theta + 21) & \text{for } -71 \leq \theta < -21 \text{ SH} \\ 0 & \text{for } \theta < -71 \text{ SH} \end{cases}$$

Donde NH y SH significan hemisferios Norte y Sur, respectivamente, h_{FR} esta en km y θ es la latitud en grados.

Como $\theta = 22^\circ \text{ N}$, $h_{FR} = 5 \text{ km}$

- d) El trayecto oblicuo L_s ; en km, es:

$$L_s = \frac{h_{FR} - h_s}{\sin EL^\circ} \tag{3.2}$$

donde:

h_s es la altura del terminal terreno sobre el nivel del mar.

$$L_5 = \frac{5 - 0.2}{\sin 50,14^\circ} = 6,25 \text{ Km}$$

$h_S = 200$ m para el territorio de Santa Clara.

e) El factor de reducción ($r_{0,01}$); debido a la inhomogeneidad de la lluvia, está dado por:

$$r_{0,01} = \frac{1}{1 + \frac{L_g}{L_o}} \quad (3.3)$$

donde:

$$L_g = L_5 \cos EL^\circ \quad (3.4)$$

$$= 6,25 \cos (50,14^\circ) = 4 \text{ km}$$

$$L_o = 35 \times e^{-0,015 R_{0,01}} \quad (3.5)$$

$$= 35 e^{-0,015 \cdot 95} = 8,418 \text{ km}$$

Entonces

$$r_{0,01} = 0,67$$

f) La atenuación específica de la lluvia ($\gamma_{0,01}$) en dB/km es:

$$\gamma_{0,01} = k (R_{0,01})^\alpha \quad (3.6)$$

Los coeficientes

$$k = \left[\frac{k_H + k_V + (k_H - k_V) (\cos EL^\circ)^2 \cos 2\tau}{2} \right] \quad (3.7)$$

$$\alpha = \left[\frac{k_H \alpha_H + k_V \alpha_V + (k_H \alpha_H - k_V \alpha_V) (\cos EL^\circ)^2 \cos 2\tau}{2k} \right] \quad (3.8)$$

donde:

τ , es el ángulo de polarización relativo a la horizontal:

$0^\circ = \tau$ para polarización horizontal.

$90^\circ = \tau$ para polarización vertical.

$45^\circ = \tau$ para polarización circular.

Los coeficientes k_H, a_H, a_V, k_V son dependientes de la frecuencia. Algunos de sus valores se muestran en la tabla 3.6.

Tabla 3.6 Valor de los coeficientes k_H, a_H, a_V, k_V

Frecuencia(GHz)	k_H	k_V	a_H	a_V
7	0,00301	0,00265	1,332	1,312
8	0,00454	0,00395	1,327	1,310
10	0,0101	0,00887	1,276	1,264
12	0,0188	0,0168	1,217	1,200
14	0,0304	0,0298	1,189	1,138

Para polarización horizontal y frecuencia de enlace 14GHz tenemos:

$$k = 0,03022$$

$$a = 1,174$$

Luego

$$\gamma_{0,01} = 6,34 \text{ dB/km.}$$

g) La longitud efectiva del tramo lluvioso (L_e) es:

$$L_e = L_S \times r_{0,01} \tag{3.9}$$

$$L_e = 6,25 \times 0,67 = 4,19 \text{ km}$$

h) La atenuación por lluvia $A_{0,01}$ es:

$$A_{0,01} = L_e \times \gamma_{0,01} \quad (3.10)$$

$$A_{0,01} = 4,19 \times 6,34 = 26,54 \text{ dB}$$

- i) Para el enlace se plantea una disponibilidad del servicio de un 99,7 % anual, lo que conlleva a un 0,3 % de probabilidad de interrupción del servicio. La atenuación por lluvia para estas condiciones será:

$$A_{p\%} = A_{0,01} \times 0,12 p^{-[0,546 + 0,043 \log(p\%)]} \quad (3.11)$$

$$A_{3\%} = 26,54 \times 0,12 \times 0,3^{-[0,546 + 0,043 \log(0,3)]} = 5,98 \text{ dB.}$$

La profundidad de margen con que cuenta el enlace en presencia de los efectos de la lluvia no es más que el margen del enlace menos el desvanecimiento por lluvia.

$$M_R = 67 \text{ (dB)} - 57,8 \text{ (dB)} = 9,2 \text{ dB}$$

$$M_D = 67 \text{ (dB)} - 57,8 \text{ (dB)} - 5,98 \text{ (dB)} = 3,22 \text{ dB}$$

A través de este ejemplo se demuestra la importancia de no tener un margen demasiado angosto, principalmente en regiones tropicales donde las condiciones atmosféricas suelen afectar más los enlaces radioeléctricos.

3.3 Ancho de banda utilizado por la red

En este epígrafe se realiza el cálculo del ancho de banda requerido en un *transponder* del satélite Intelsat 706 que será empleado por una red en la cual se han definido tres tipos de servicios de conectividad. Será analizado a partir de los requerimientos establecidos expuestos en la tabla 3.7.

Tabla 3.7 Requerimientos establecidos para el cálculo del ancho de banda

Tipo de Servicio ofrecido	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
Número de PC en las que se deberá prestar el servicio	3 a 4	5 a 8	9 a 12
Velocidad mínima del canal de acceso(kbps)	64	128	384
Velocidad mínima garantizada de navegación(download)(kbps)	48	64	288
Máximo valor de simultaneidad permitido	4	4	4
Máximo valor de asimetría permitido (download/upload)	4 a 1	4 a 1	4 a 1

Capacidad del enlace

Si se analiza la tabla 3.8, los datos mostrados en la tabla 3.7 y siguiendo el método descrito en el capítulo anterior se puede realizar el cálculo de la capacidad del enlace en cuanto a velocidad. Los resultados para el enlace *inbound* tipo 1 se obtienen utilizando la ecuación (2.32).

$$C_{u1} = 365 \times 3 \text{ kbps} = 1,1 \text{ Mbps}$$

Recordar que para la velocidad en el caso *inbound* hay que tener en cuenta el valor de asimetría de este enlace con el *outbound*. Para completar el cálculo de la capacidad total *inbound* se realiza de forma similar para los tipos de servicio dos y tres. Posteriormente utilizando la ecuación (2.33) se obtiene la capacidad total para este tipo de enlace.

$$C_{ut} = 1,1 + 0,52 + 0,54 = 2,16 \text{ Mbps}$$

Para el enlace *outbound* se efectúa de la misma forma. Los resultados finales obtenidos se muestran en la tabla 3.8.

Tabla 3.8 Requerimientos por tipo de conectividad

Tipo de conectividad	Cantidad de remotas	Reuso	Velocidad con Reuso (kbps)		Capacidad total (Mbps)	
			<i>outbound</i>	<i>inbound</i>	<i>outbound</i>	<i>inbound</i>
Tipo 1	365	4	12	3	4,38	1,1
Tipo 2	130	4	16	4	2,08	0,52
Tipo 3	30	4	72	18	2,16	0,54
TOTAL					8,62	2,16

Ancho de banda en el enlace upstream

Los parámetros del modem seleccionado para el enlace *upstream* se muestran en la tabla 3.9. Ver anexo 3.4 donde se encuentran las especificaciones técnicas del modem.

Tabla 3.9 Parámetros del modem.

Parámetro	Valor
Razón de símbolos	160 ksps
Tipo de modulación	QPSK
FEC	1/2
Reed-Solomon	No usado
<i>Overhead</i>	15%
Factor de <i>Roll-off</i>	1,25

Con los valores de configuración mostrados y utilizando las ecuaciones de la (2.34) a la (2.39) se obtienen los parámetros del enlace *upstream*:

$$V_t = 160 \text{ ksps} \times 2 = 320 \text{ kbps} \text{ (} N_b = 2 \text{ para modulación QPSK)}$$

$$V_d = 320 \text{ kbps} \times \frac{1}{2} = 160 \text{ kbps} \text{ (no se usa Reed-Solomon)}$$

$$V_i = 160 \text{ kbps} \times 0,85 = 136 \text{ kbps}$$

$$BW = 160 \text{ ksps} \times 1,25 = 200 \text{ kHz}$$

$$N_u = \frac{2,16}{0,136} = 15,88 \text{ portadoras}$$

Se toman 16 portadoras lo que implica que la capacidad total del enlace (2,176 Mbps) va a ser algo mayor a la requerida (2,16 Mbps).

$$BW_{ut} = 16 \times 200 \text{ kHz} = 3,2 \text{ MHz}$$

En la tabla 3.10 se muestran los valores de la capacidad del enlace *upstream*

Tabla 3.10 Capacidad del enlace *upstream*

Capacidad del enlace	Upstream
Velocidad total de información	2,16 Mbps
Número de portadoras	15,88
Portadoras escogidas	16
Ancho de banda	3,2 MHz

Ancho de banda en el enlace downstream.

Del número de portadoras obtenidas en el enlace *upstream* y utilizando la ecuación (2.40) se obtiene el número de portadoras para el enlace *downstream*.

$$N_d = \frac{16}{6} = 2,66 \text{ portadoras (se toman 3 portadoras)}$$

Para el enlace *downstream* se utiliza el modem SURFBEAM SMTS-1200. La tabla 3.11 muestra la configuración del modem. Ver anexo 3.5 donde están las especificaciones técnicas del mismo.

Tabla 3.11 parámetros del modem.

Parámetro	Valor
Razón de símbolos	1,28Msps
Tipo de modulación	8PSK
FEC	8/9
Reed-Solomon	1,1
<i>Overhead</i>	5%
Factor de <i>Roll-off</i>	1,2

Utilizando las ecuaciones de la (2.34) a la (2.37) se obtienen los parámetros del enlace *downstream*.

$$V_t = 1,28 \text{ Msps} \times 3 = 3,84 \text{ Msps} \quad (N_b = 3 \text{ para el caso de modulación QPSK}).$$

$$V_d = 3,84 \text{ Msps} \times \frac{8}{9} \times \frac{1}{1,1} = 3,1 \text{ Mbps} \quad (\text{se toma en cuenta la Reed-Solomon}).$$

$$V_i = 3,1 \text{ Mbps} \times 0,95 = 2,95 \text{ Mbps}$$

$$BW = 1,28 \text{ Msps} \times 1,2 = 1,536 \text{ MHz}$$

Ahora se comprobará si la capacidad total para el enlace *outbound* utilizando 3 portadoras de 1,28 Msps es superior a la mostrada en la tabla 3.8.

$$C_{dt} = V_i \times N_d \quad (3.12)$$

donde:

C_{dt} : es la capacidad total del enlace downstream

$$C_{dt} = 2,95 \text{ Mbps} \times 3 = 8,84 \text{ Mbps}$$

Con este resultado se demuestra que el valor de capacidad de la configuración escogida (8,84 Mbps) supera el valor de capacidad mínima requerido para el enlace *downstream* (8,62 Mbps). Ahora quedará definido el ancho de banda para el enlace *downstream* utilizando la ecuación (2.39).

$$BW_{dt} = 3 \times 1,536 \text{ MHz} = 4,61 \text{ MHz}$$

La tabla 3.12 muestra los resultados obtenidos en el enlace *downstream*.

Tabla 3.12 Capacidad del enlace *downstream*.

Capacidad del enlace	<i>Downstream</i>
Velocidad de información por portadora	2,95 Mbps
Velocidad total de información	8,84 Mbps
Número de portadoras	3
Ancho de banda por portadora	1,536 MHz
Ancho de banda total	4,61 MHz

Ancho de banda total en el transponder

Si se utiliza la ecuación (2.41) se obtendrá el ancho de banda total requerido en el *transponder*. La tabla 3.13 muestra los requerimientos finales de ancho de banda.

$$BW_t = 5,18 \text{ MHz} + 3,2 \text{ MHz} = 8,38 \text{ MHz}$$

Tabla 3.13 Requerimientos totales de ancho de banda.

Ancho de banda		
	<i>Downstream</i>	<i>upstream</i>
Número de portadoras	3	16
Ancho de banda requerido	4,61 MHz	3,2 MHz
Ancho de banda total	7,81	MHz

3.4 Conclusiones parciales

Del análisis realizado en el capítulo dos y con la fundamentación del mismo a través del ejemplo presentado en este capítulo, se ha ilustrado un procedimiento mediante el cual se puede efectuar el dimensionamiento de una red VSAT. Los pasos a seguir son:

- Definir los tipos de servicios que se van a ofrecer a los usuarios en cuanto a garantía de velocidades de acceso en los canales de subida y bajada.
- Hacer el cálculo del ancho de banda que va a necesitar la red para satisfacer los servicios ofrecidos.
- Contratar a las empresas o consorcios proveedores de capacidad espacial.
- Obtener los recursos del satélite que va a ser utilizado.
- Establecer un margen para el enlace de radiofrecuencia entre las estaciones terrenas que garantice la disponibilidad anual ofrecida, teniendo en cuenta las condiciones atmosféricas para los enlaces en banda Ku, especialmente en regiones tropicales.
- Hacer el cálculo de los parámetros técnicos que deben tener las estaciones terrenas para garantizar el margen del enlace establecido.

CONCLUSIONES

Con la realización de este trabajo se puede arribar a las siguientes conclusiones:

- Se ha descrito un procedimiento para llevar a cabo el dimensionamiento de una red VSAT.
- El mismo esta basado principalmente en los aspectos técnicos de las estaciones terrenas, los recursos del satélite y los tipos de servicios ofrecidos a los usuarios.
- Se destaca la importancia significativa de las condiciones atmosféricas en regiones tropicales, especialmente la lluvia, a la hora del cálculo del margen del enlace radioeléctrico.
- El procedimiento se ha validado a través de un ejemplo teniendo en cuenta los aspectos esenciales de la red.

RECOMENDACIONES

De manera general, se recomienda:

- Calcular el margen del enlace radioeléctrico que va desde el hub hasta la VSAT.
- Implementar un software, el cual al introducirle los parámetros necesarios para el dimensionamiento de la red pueda realizar el procedimiento descrito y llegar al resultado. El mismo puede ser utilizado por los estudiantes en la asignatura Sistemas de Radio.
- Hacer el dimensionamiento de otras redes con diferentes requerimientos de velocidades y distintos parámetros técnicos en las estaciones terrenas, que permitan validar el procedimiento.

ANEXOS

Anexo 3.1 Parámetros de las estaciones terrenas

Tabla 3.1 Parámetros de la estación transmisora

Sitio Tx	Santa Clara
Latitud	22°N
Longitud	80°O
Diámetro de la antena (m)	1,2
G _{Tx} (dBi)	43
Pérdidas de las guías de onda (dB)	-0,5
P _T (W)	2
Traking	No
Zona lluviosa	N

Tabla 3.2 Parámetros de la estación receptora

Sitio Rx	Habana
Latitud	23°N
Longitud	82°O
Diámetro de la antena (m)	4,6
G _{Rx} (dBi)	53,5
Pérdidas de recepción (dB)	-0,1
Temperatura de ruido de la antena (K)	33
Temperatura de los amplificadores de bajo ruido (K)	160
Traking	No
Zona lluviosa	N

Anexo 3.2 Elementos esenciales del satélite y la señal portadora

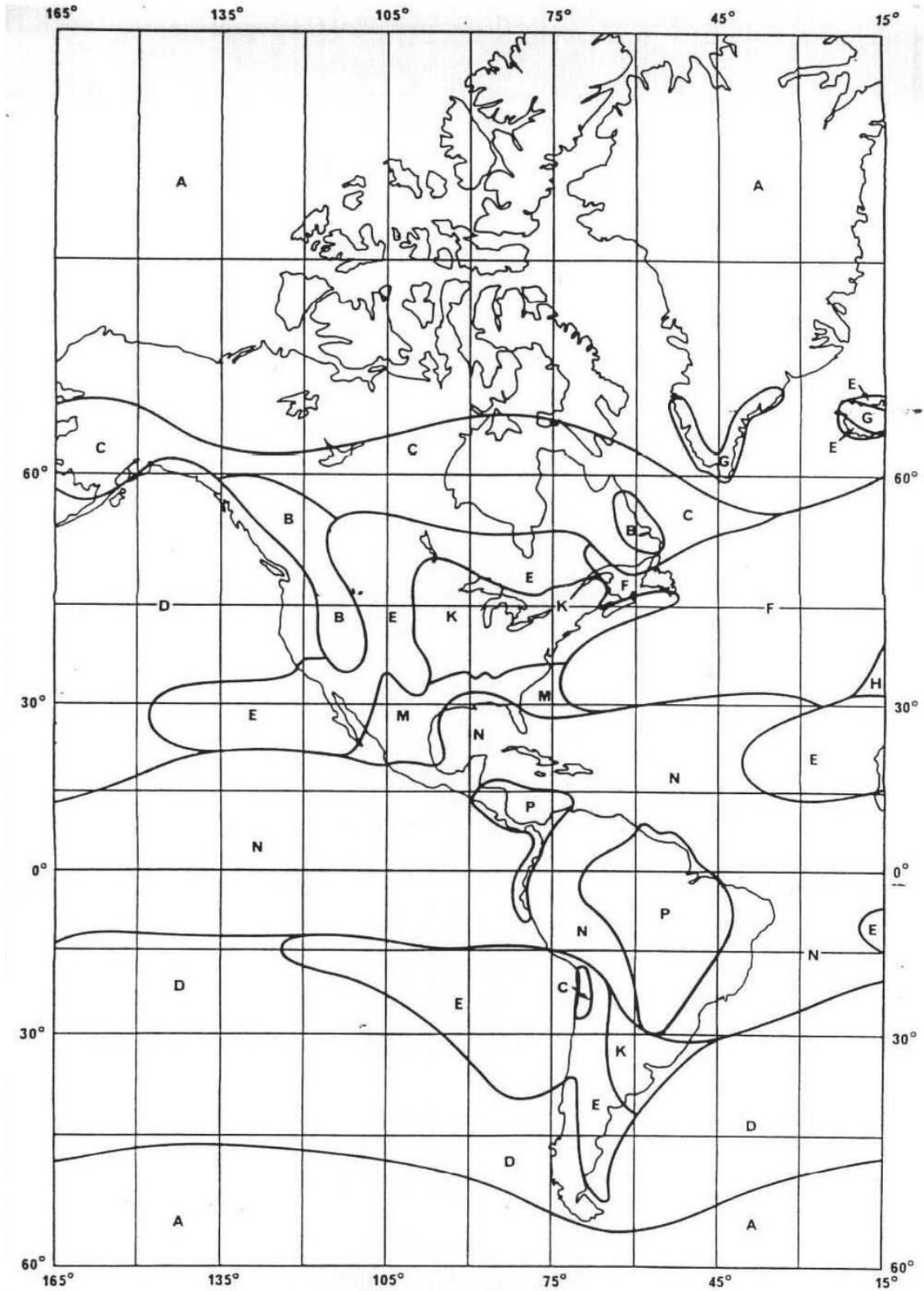
Tabla 3.3 Parámetros del satélite

Parámetros del Satélite	
Satélite	Intelsat
Localización	307° E
G/T (dB/K)	3,8
PIRESLsat(dB\W)	45
Densidad de flujo de saturación(dBW\m ²)	-87
IBO (dB)	5,4
OBO (dB)	3,5

Tabla 3.4 Parámetros de la portadora

Parámetros de la portadora	
modem	SMTS-1200
Modulación	QPSK
Número de portadoras	1
Razón de información (kbps)	136
FEC	1/2
Factor de extensión	1
Razón de transmisión (kbps)	320
Frecuencia de subida (GHz)	14
Frecuencia de bajada (GHz)	12
Disponibilidad anual (%)	99,7
Eb/No requerida (dB)	6
BER	10 ⁻⁷

Anexo 3.3 Región climática: América



Anexo 3.4 Datos del modem de usuario

SPECIFICATIONS**IDU****Forward Channel Modulation Coding:**

Rate 2/3, 3/4, 5/6, 8/9 Turbo (BPSK)

Rate 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 Turbo (QPSK)

Reed-Solomon outer code

Modulation Types: BPSK and QPSK**Downlink Symbol Rate:** 5 to 30 Msps**Nominal Data Rates:** 5 to 72 Mbps**Return Channel Modulation Coding:**

Rate 1/2 Turbo

Reed-Solomon outer code (Optional)

Modulation Types: QPSK**Uplink Symbol Rate:** 160, 320, 640, 1280 or 2560* ksps**Nominal Data Rates:** 150 – 2400* kbps**IDU AND IFL INTERFACE****Transmit IF:**

1800 – 2300 MHz (Ka-band ODU)

950 – 1450 MHz (Ku-band ODU)

Receive IF:

950 – 1700 MHz

I/O Impedance: 75 Ohms, nominal**Tx Output Level:** 0 to -30 dBm**Rx Input Level:** -30 to -60 dBm**SSPA Power:** Supplied by IDU**ODU AND ANTENNA INTERFACE****Typical EIRP:**

48.3 to 58.5 dBW (Ka); 42 to 46.1 dBW (Ku)

Typical G/T: 15.4 dBi/°K**Noise Temperature:** 70°K, typical**Uplink Frequency Range:**

(13.75*) 14.0 – 14.5 GHz (Ku); 29.5 – 30.0 GHz (Ka)

Downlink Frequency Range:

10.7 to 12.75 GHz (Ku); 19.7 – 20.2 GHz (Ka)

NETWORKING**IP Inter-networking:**

Transparent TCP and HTTP acceleration

Quality-of-Service:

Layer 2–4 packet classification and filtering

Per-flow queuing and policing

ENVIRONMENTAL**Indoor Unit****Temperature:** 0° C to +40° C**Humidity:** 10% to 95% (non-condensing)**Altitude:** 10,000 feet**Outdoor Unit****Temperature:** -40° C to +55° C**Humidity:** 0 to 100% (condensing)**Dust, Sand and Fungus:**

Withstand and operate without degradation in the presence of dust, sand, and fungus growth

PHYSICAL**CPE Interface:**

Ethernet: IEEE 802.3, 10/100 BaseT (single RJ-45 connector)

IDU / ODU Interface: RG-6 (≤30m) cable, F-type connector**Status Indicators:** Power, Satellite Acquisition, Activity and Fault**Power Supply:** 85 to 264 VAC; 47 to 63 Hz**Size:**

Indoor unit: 23 x 23 x 3.8 cm (9 x 9 x 1.5 inches)

Outdoor unit: Transceiver: 11 x 15 x 5 cm

Outdoor unit: Antenna: 62 to 120 cm

Weight:

Indoor unit: 0.6 kg

Outdoor unit: Transceiver – 1.5 kg

Outdoor unit: Antenna – varies

* Italic indicate planned capability
 Specifications subject to change without notice

Anexo 3.5 Datos del modem SURFBEAM SMTS-1200

SPECIFICATIONS**PER BLADE MODULATIONS / CODINGS****Forward Channel Modulation Codings:**

Rate 2/3, 3/4, 5/6, 8/9 Turbo (BPSK)

Rate 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 Turbo (QPSK)

Reed-Solomon outer code

Modulation Types: BPSK and QPSK**Downlink Symbol Rate:** 5 to 30 Msps**Nominal Data Rates:** 5 to 72 Mbps**Return Channel Modulation Codings:**

Rate 1/2 Turbo code

Reed-Solomon outer code (Optional)

Modulation Types: QPSK**Uplink Symbol Rate:** 160, 320, 640, 1280 or 2560* kbps**Nominal Data Rates:** 150 – 2400* kbps**PER BLADE IF INTERFACE****Transmit IF:** 950 – 1450 MHz**Receive IF:** 950 – 1450 MHz**Forward Channels:**

Supports up to 12 ea.

30 Msps channels

Reverse Channels:

Supports up to 8 ea.

160 kbps to 1.28 Msps channels

Tx Output Level: -5 to -30 dBm**Rx Input Level:** 0 to -25 dBm total composite power**NETWORK****Intra/Inter Domain Routing/Switching Support:**

RIP v1, v2, OSPF v2, BGP4, MPLS

Multicast Routing Support:

DVMRP, PIM, IGMP v2, MBGP

Network Interfaces:

1-port Gigabit Ethernet

8-port 10/100BaseT

2-port OC-3 / OC-12

ENVIRONMENTAL**Temperature:** 0° C to +40° C**Humidity:** 10% to 90% (non-condensing)**Altitude:** 10,000 feet**PHYSICAL (FULLY CONFIGURED)****Power Supply:** 120V AC or -48 VDC**Dimensions:**

Height: 29.75" (76.56 cm)

Width: 19" (48.26 cm)

Depth: 19.75" (50.17 cm)

Weight Fully configured: 140 lbs (63.5 kgs)**CHASSIS CONFIGURATION**

Module	Quantity	Redundancy
Routing Modules	Up to 2 ea.	1:1
LAN Cards	Up to 12 ea.	1:1
Blades	Up to 12 ea.	1:N
AC/DC Power Rectifiers	Up to 3 ea.	1:1 or 1:3

* Italics indicate planned capability
 Specifications subject to change without notice

GLOSARIO DE TERMINOS

ALOHA	Acceso Aleatorio por División del Tiempo. (<i>A Random Access Scheme</i>)
BER	Tasa de Error (<i>Bit Error Rate</i>)
BPSK	Modulación por Desplazamiento de Fase Bivalente. (<i>Bivalent Phase Shift Key</i>)
CDMA	Acceso Múltiple por División de Código. (<i>Code Division Multiple Access</i>)
CPU	Unidad de Procesamiento Central. (<i>Central Processor unit</i>)
d	Distancia estación terrena-satélite
DAMA	Múltiple Acceso con Asignación por Demanda
DEP	Densidad Espectral de Potencia
d_{fs}	Densidad de flujo de saturación
<i>Downlink</i>	Enlace del satélite a la estación terrena
FEC	Corrección de Errores Adelantada (<i>Forward Error Correction</i>)
FDM	Multiplex por División de Frecuencia. (<i>Frequency Division Multiplex</i>)
FDMA	Acceso Múltiple por División de Frecuencia. (<i>Frequency Division Multiple Access</i>)
GHz	GigaHertz (1×10^9 hertz)
HPA	Amplificador de Alta Potencia. (<i>High Powered Amplifier</i>)
hub	Nodo central de origen de transmisión, retransmisión y encaminamiento en una red VSAT de configuración en estrella. (Estación Terrena Maestra)

IBO	<i>Input Back Off</i>
IDU	Unidad interior. (<i>Indoor Unit</i>)
IF	Frecuencia intermedia. (<i>Intermediate Frequency</i>)
<i>inbound</i>	Transferencia de información desde un VSAT al hub
<i>Inroute</i>	Una portadora (canal) asignada al trayecto desde las VSAT al hub.
K	Constante de Boltzman
kHz	kilohertz (1×10^3 hertz)
LAN	Red de área local. (<i>Local Area Network</i>)
LNA	Amplificador de bajo ruido. (<i>Low Noise Amplifiers</i>)
M_{cs}	Margen con cielo despejado
M_m	Margen del modem
NMS	Sistema de Monitoreo de la Red. (<i>Network Management System</i>)
OBO	<i>Output Back Off</i>
ODU	Unidad exterior. (<i>Outdoor Unit</i>)
<i>outbound</i>	Transferencia de información desde el hub a un VSAT
<i>Outroute</i>	Una portadora (canal) asignada al trayecto desde el hub a las VSAT
PAMA	Acceso Múltiple Preasignado
PC	Computador Personal. (<i>Personal Computer</i>)
PIRE	Potencia Isotrópica Radiada Equivalente.
QPSK	Modulación en Cuadratura por Desplazamiento de Fase. (<i>Quaternary Phase Shift Keying</i>)

RF	Radiofrecuencia. (<i>Radiofrequency</i>)
TDM	Multiplex por División de Tiempo. (<i>Time Division Multiplex</i>)
TDMA	Acceso Múltiple por División de Tiempo. (<i>Time Division Multiple Access</i>)
T_{rf}	Tiempo de reuso de frecuencia
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
UIT-R	Unión Internacional de Telecomunicaciones- Radiocomunicaciones
<i>Uplink</i>	Enlace estación terrena-satélite
USAT	<i>Ultra Small Aperture Terminal</i>
VSAT	Terminales de muy Pequeña Apertura. (<i>Very Small Aperture Terminal</i>)
W	Watt

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. "A comparison of Satellite Access Technologies.", Sitio Web http://www.nsicomm.com/_borders/comparisonfnl.pdf
2. Allman, M. (1999). "Enhancing TCP Over Satellite Channels using Standard Mechanisms". IETF RFC 2488.
3. Allman, M. (2000). "Ongoing TCP Research Related to Satellites". IETF RFC 2760.
4. Allman, M. (1999). "TCP Congestion Control". IETF RFC 2581.
5. "Aplicaciones.", Sitio Web <http://www.codetel.net.do/servicios/nuevo/ofertasi.htm>
6. Bates, Regis., (2003). Comunicaciones inalámbricas de banda ancha. Mc Graw-Hill/Interamericana de España. Madrid. España.
7. Bruce, Elbert, (1999). Introduction to Satellite Communication. 2da Edición, Artech House, Space Applications.
8. Bruce, Elbert, (2003). The Satellite Communication Applications Handbook. Artech House, Space Applications.
9. Carlson, B.; Paul, C. y J. Rutledge, (2002). Communication Systems, an introduction to signals and noise in electrical communication. 4a edición, Mc Graw-Hill, Nueva York, EUA.
10. Comer, Douglas, (1996). Redes Globales de información con Internet y TCP/IP. tercera edición, Prentice Hall, Inc. Capítulos 8,11 y 13.
11. Flickenger, Rob.; (2006) "Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo Una guía práctica para planificar y construir infraestructuras de telecomunicaciones de bajo costo" disponible en <http://www.montevideolibre.org/doku.php/manuales:libros/>

12. Hernando, J. M. (2002). Transmisión por radio, 5ª Edición, Editorial Centro de Estudios Ramón Acres, S.A. ETSIT.
13. "How do VSAT Systems Work?", Sitio Web <http://www.bhartibt.com/tutorial/vsatwork.html>
14. Huckaby, Tim (2001). "Is 802.1x the Answer?" en Windows 2000 Magazine, 7(16): 50.
15. Informe de CITELE 1995 "Compilación de las aplicaciones de redes VSAT en las Américas.", Sitio Web http://www.citel.oas.org/sp/CCP3/VSAT_report_1.htm
16. Informe de CITELE, 1998 "Compilación de las aplicaciones de redes VSAT en las Américas.", Sitio Web <http://www.oas.org/SP/PROG/CITELE/vsat.htm>
17. "Informe del grupo de trabajo sobre el uso de terminales de muy pequeña apertura (VSAT) en las Américas.", Sitio Web http://www.citel.oas.org/citel_e.htm
18. Jing Peng. (2001). Improving TCP Performance over Long Delay Satellite Links. 2001, disponible en: <http://www.scs.carleton.ca/~barbeau/Research/opnet.html>.
19. Kreft, A. (2003). "Redes Inalámbricas" en pc-news.com. Estados Unidos, disponible En <http://www.pc-news.com/detalle.asp?sid=&id=4&Ida=1270/> [accesado el 1 de mayo de 2007]
20. "La nueva era de los satélites.", Sitio Web <http://155.210.68.46/pfc/cutresat/>
21. "Las redes VSAT.", 1997. Sitio Web <http://www.red.com.mx/>
22. "Las redes VSAT." Sitio Web <http://gseyc.conectividad.ipn.mx/Manuel/index.html>
23. León-García, A., e I. Widjaja, (2004) Communications Networks. Fundamentals Concepts and Key Architecture. Mc Graw-Hill, Nueva York, EU
24. Matos, J., (2002), Satellite Broadcast Systems Engineering, Artech House, Londres, Inglaterra.

25. Maral, G.; Bousquet, M y David, S; (1998). Satellite Communications Systems.
Jonh Wiley & Sons.
26. Proakis, J., (2001), Digital Communications. Tomo 3, 4ta Edición, Nueva York, Mc
Graw-Hill, EUA.
27. Ramasarma, V., (2002). "A Coverage Area Estimation Model for Interference-
Limited Non-Line-of-Sight Point-to-Multipoint Fixed Broadband Wireless
Communication Systems". Trabajo de Máster en Ciencias. Instituto Politécnico de
Virginia. EUA.
28. "Satélites de comunicaciones.", Sitio Web
http://obelix.umh.es/99-00/teleco_sist/msat1/public_html/
29. "Satellite Multi Service (SMS) Handbook." ESOG Volume II Module 220, Sitio
Web http://www.eutelsat.org/pdf/5_2_2_2/esog220.pdf
30. "Service Integration in Next Generation VSAT Networks." CSHCN T.R. 97-29,
Sitio Web <http://www.isr.umd.edu/CSHCN/>
31. Sitio Web TELEDESIC, <http://www.sat-net.com/L.Wood/constellations/teledesic.html>
32. Sklar, B., (1998) Digital Communications. Fundamentals and applications. Nueva
Jersey, Prentice Hall, EUA.
33. Stalling, Williams (2000). Wireless LANs en Local and Metropolitan Area
Networks, 6a Edición, Cap.10, Prentice Hall.
34. "VSAT Handbook." ESOG Volumen II Module 230, Sitio Web
http://www.eutelsat.org/pdf/5_2_2_2/esog230.pdf
35. "VSAT systems.", Sitio Web <http://www.multipoint.co.uk/FILES/0.htm>
36. Wang, X. y H. Vincent Poor, (2003) Wireless Communication Systems: Advanced
Techniques for Signal Reception. Prentice Hall. EUA
37. "What is a VSAT?", Sitio Web <http://www.bhartibt.com/tutorial/whatvsat.html>