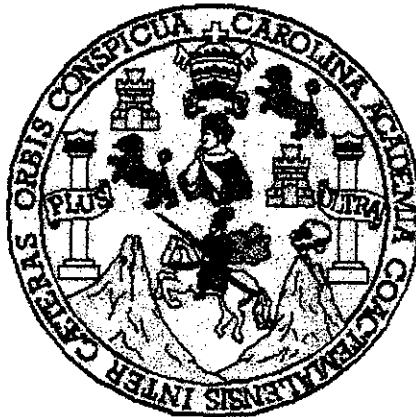


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROPUESTA DE RED VSAT TDMA VÍA SATÉLITE PARA LA RED
NACIONAL DE GUATEMALA

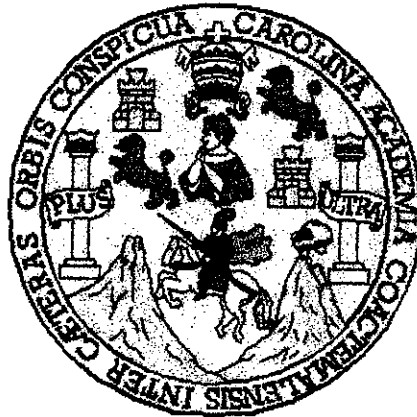
TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

NELSON ERNESTO CIFUENTES TORRES
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN FÍSICA APLICADA
(RAMA ELECTRÓNICA)

GUATEMALA, FEBRERO DE 1999

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
VOCAL 1º.	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL 2º.	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
VOCAL 3º.	Ing. Jorge Benjamín Gutiérrez Quintana
VOCAL 4º.	Br. Dimas Alfredo Carranza Barrera
VOCAL 5º.	Br. José Enrique López Barrios
SECRETARIA	Inga. Gilda M. Castellanos de Illescas

TRIBUNAL DE PRACTICÓ EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO

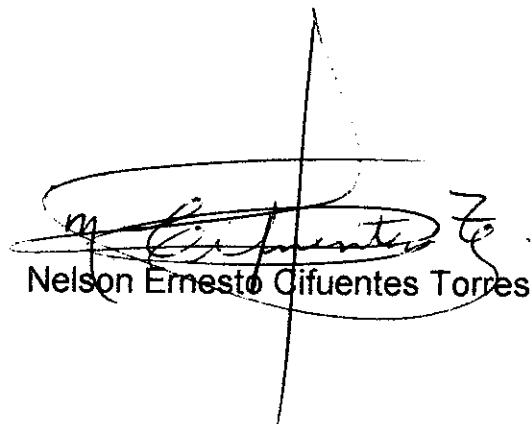
DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Lic. Osmar Obdulio Hernández Aguilar
EXAMINADOR	Lic. Ricardo Enrique Contreras Folgar
EXAMINADOR	Ing. Augusto Campos Montenegro
SECRETARIA	Inga. Gilda M. Castellanos de Illescas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

PROPUESTA DE RED VSAT TDMA VÍA SATÉLITE PARA LA RED NACIONAL DE GUATEMALA

tema que me fuera asignado por la dirección de la Escuela de Ciencias con fecha 27 de mayo de 1998.



Nelson Ernesto Cifuentes Torres

DEDICATORIA

A

DIOS

A MIS PADRES

JULIO CÉSAR CIFUENTES ANLEU
ISABEL ANLEU DE CIFUENTES

A MI ESPOSA

RUBY AMARILIS GUERRERO BARCO

A MI HIJA

LUCÍA ALEJANDRA CIFUENTES GUERRERO

A MIS PADRINOS

JOSÉ VINICIO RODRIGUEZ TOLEDO
INGRID AYERDI DE RODRIGUEZ

A USTED

ESPECIALMENTE

Guatemala,
31 de julio de 1998

Ingeniero
Oscar Herbert Mendía Alarcón
Director Escuela de Ciencias
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos
Presente.

Ingeniero Mendía:

Por medio de la presente le informo que ya efectué la revisión de la Tesis "PROPUESTA DE RED VSAT TDMA VÍA SATÉLITE PARA LA RED NACIONAL DE GUATEMALA" del estudiante Nelson Ernesto Cifuentes Torres, tema que le fue asignado por la Dirección de la Escuela de Ciencias, previo a optar el título de Licenciado en Física (rama electrónica).

Estando a mi entera satisfacción la tesis presentada por el Br. Cifuentes, le doy mi aprobación a la misma

Atentamente,


Ing. Mario Rolando López Morán
ASESOR



FACULTAD DE INGENIERIA

Ref. Depto. Fis. 108.08.98
Guatemala, 26 de agosto de 1,998

Ing. Herbert Mendía
DIRECTOR, ESCUELA DE CIENCIAS
FACULTAD DE INGENIERIA
Presente

Estimado Ingeniero Mendía:

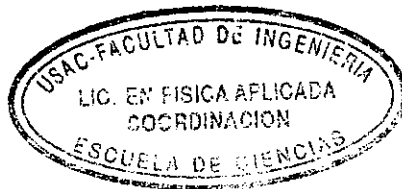
Me dirijo a usted para informarle que he realizado la revisión de trabajo de tesis titulado PROPUESTA DE RED VSAT TDMA VIA SATELITE PARA LA RED NACIONAL DE GUATEMALA, del estudiante NELSON ERNESTO CIFUENTES TORRES, con carné No. 86-12142, y considerando que cumple con los objetivos de la carrera de Licenciatura en Física Aplicada, le doy mi aprobación como Coordinador de la carrera.

Agradeciendo su colaboración. Me suscribo de usted muy atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Lic. Edgar Anibal Cifuentes Anleu
Coordinador, Lic. En Física Aplicada
DEPARTAMENTO DE FISICA
FACULTAD DE INGENIERIA

c.c. archivo



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ciencias, después de conocer el dictamen del Asesor y del Coordinador de la Licenciatura en Física Aplicada, Lic. Edgar Cifuentes, al trabajo de tesis del estudiante Nelson Ernesto Cifuentes Torres, titulado: **PROPUESTA DE RED VSAT TDMA VIA SATELITE PARA LA RED NACIONAL DE GUATEMALA**, da por este medio su aprobación a dicha tesis.

Ing. Herbert Méndez Alarcón
DIRECTOR



Guatemala, enero de 1,999.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

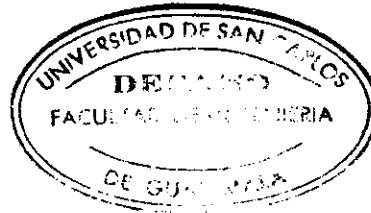


FACULTAD DE INGENIERIA

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ciencias, Ingeniero Herbert Mendía Alarcón, al trabajo de tesis: **PROPUESTA DE RED VSAT TDMA VIA SATELITE PARA LA RED NACIONAL DE GUATEMALA**, del estudiante Nelson Ernesto Cifuentes Torres, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:


Ing. Herbert René Miranda Barrios
DECANO



Guatemala, enero de 1,999.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
GLOSARIO	V
INTRODUCCIÓN	VII
1 GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS VSAT	1
1.1 ¿Qué es VSAT?	1
1.2 Transmisión de datos, voz y video en sistemas VSAT	2
1.3 Aplicaciones de las redes VSAT	3
1.4 Ventajas y desventajas de una red VSAT	4
1.5 Acceso múltiple	7
1.6 Acceso múltiple aleatorio (ALOHA)	14
1.7 Retardo	16
2 ELEMENTOS DE UNA RED VSAT	17
2.1 La estación HUB	17
2.2 El segmento espacial	20
2.3 Los terminales VSAT	26
2.4 Parámetros típicos de equipos VSAT y HUB	30
2.5 Configuraciones de una red VSAT	32
3 ANÁLISIS DEL CÁLCULO DE ENLACE	36
3.1 Introducción al cálculo de enlace	36
3.2 Cálculos en decibeles	37
3.3 Conceptos para el cálculo de enlace	45
3.4 Ejemplos de cálculos de enlace	66
4 PROPUESTA DE RED VSAT TDMA	73
4.1 TDMA de baja velocidad	77
4.2 Redes TDM/TDMA	81
4.3 Redes de acceso múltiple con asignación en demanda (DAMA)	91

4.4	Redes híbridas	93
4.5	Centro de gestión y control de la red (NMCC)	95
5	CÁLCULO DEL SEGMENTO ESPACIAL REQUERIDO	101
5.1	Generalidades: parámetros del satélite	101
5.2	Generalidades: características de la estación terrena	102
5.3	Características de las portadoras	102
5.4	Dimensiones de la red	104
5.5	Cálculo del segmento espacial y costos de la red	110
5.6	Formato de estudio de campo para la instalación de una VSAT	112
	CONCLUSIONES	117
	RECOMENDACIONES	119
	BIBLIOGRAFÍA	121
	APÉNDICE	122

TABLAS

No.	Título	Pág.
I	Ventajas y desventajas de las bandas de frecuencias	25
II	Bandas de frecuencias	30
III	Parámetros típicos de equipos VSAT y HUB	30
IV	Parámetros de las antenas	31
V	Parámetros usuales en unidades decibel	72
VI	Ejemplos de uso de decibeles	70
VII	Pérdidas del espacio libre	70
VIII	Forma para el cálculo de enlace de subida	71
IX	Forma para el cálculo de enlace de bajada	72
X	Síntesis de las aplicaciones requeridas	74
XI	Objetivos de calidad y disponibilidad según el modulo IESS-309	75
XII	Comparación del desempeño	88
XIII	Características de las portadoras	103
XIV	Transacciones de datos y tráfico de caracteres calculados	105
XV	Cálculo del tráfico de la red	107
XVI	Resumen del tráfico y número de portadoras	109
XVII	Resumen de requerimientos de segmento espacial	111

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

No.	Título	Pág.
1	Estación terrena HUB	17
2	Diagrama de bloque de una estación HUB	18
3	Satélite de INTELSAT	21
4	Diagrama de cobertura mundial de las banda C y Ku	23
5	Diagrama de bloques detallado de una estación terrena	26
6	Antena VSAT	27
7	Unidad interior de un sistema VSAT	29
8	Configuración estrella para una red VSAT	33
9	Configuración malla para una red VSAT	34
10	Red VSAT que utiliza técnicas TDMA	97
11	Posibles servicios en una red VSAT que utiliza técnicas TDMA puro o TDMA/TDMA	98
12	Red VSAT que utiliza técnicas TDM/TDMA	99
13	Comparación de características de caudal y retardo	100

GLOSARIO

BER	Tasa de error de bit
DAMA	Acceso múltiple con asignación en demanda
Erlang	Unidad de medida para tráfico
FDM	Multiplexación por división de frecuencia
FDMA	Acceso múltiple por división de frecuencia
FEC	Corrección de error adelantada
HUB	Estación principal de la red
IBS	Servicios de negocios internacionales
IESS	Estándar internacional para estaciones terrenas
INTELSAT	Organización internacional de telecomunicaciones por satélite
IP	Protocolo de internet
LAN	Red de área local
MAC	Componentes analógicos de multiplexación
MPEG	Grupo experto de fotografía multimedia
NMCC	Centro de gestión y control de la red
NMS	Sistema de administración de la red
PIRE	Potencia isotrópica radiada equivalente
RF	Radio frecuencia
RS-232, RS-442,	
RS-449	Interfaces para diferentes aplicaciones
SCPC	Sistemas de un solo canal por portadora

SPADE	Acceso múltiple con asignación por demanda y un solo canal por portadora
TCP	Protocolo de control de transmisión
TDM	Multiplexación por división de tiempo
TDMA	Acceso múltiple por división de tiempo
UIT	Unión internacional de telecomunicaciones
VSAT	Terminales de pequeña apertura
X.25, X.21, V.11, V35	Protocolos normados por la UIT para transmisión de datos

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo contiene un estudio de facilidades de comunicación, para el establecimiento gradual de una red VSAT nacional para Guatemala, utilizando capacidad de la compañía INTELSAT.

Dada la necesidad urgente que existe en el país de contar con servicios de telecomunicaciones, especialmente la transmisión de datos iterativos y voz que en los últimos años ha tenido un gran auge dentro de los servicios de comunicación, se propone establecer una red VSAT TDMA que podría dar comienzo de inmediato utilizando la capacidad que posee la empresa TELGUA, S.A. en su transpondedor 42/42 en el satélite INTELSAT 706 A 307° Este, usando como antena central de toda la red la estación terrena Jezriel, que trabaja con ese satélite.

Este estudio es una solución inmediata actualmente, a las necesidades de comunicación que Guatemala sufre sobre todo en el interior del país, donde se carece de infraestructura terrestre, lo cual estaría ayudando al desarrollo económico y social.

Los guatemaltecos, en los últimos tiempos se han visto con la necesidad de establecer comunicación dentro y fuera del país.

Por esta razón el proyecto de implementar una red VSAT TDMA viene a prevalecer, adicional a esto se observa que los países del mundo actual se ven sometidos a procesos de globalización, donde los medios de comunicación son de suma importancia, con la finalidad de facilitar los procesos de negociaciones y desarrollo socioeconómico de Guatemala.

Es importante hacer mención que el lector debe poseer ciertos conocimientos en física y matemática para obtener un mejor aprovechamiento del contenido de este trabajo.

1 GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS VSAT

1.1 ¿Qué es VSAT?

Las redes VSAT (Very Small Aperture Terminals) son redes privadas de comunicación de datos vía satélite para intercambio de información PUNTO-PUNTO, PUNTO-MULTIPUNTO (broadcasting) o INTERACTIVA.

Sus principales características son:

- Redes privadas diseñadas a la medida de las necesidades de las compañías que las usan.
- El aprovechamiento de las ventajas del satélite por el usuario de servicios de telecomunicación a un bajo costo y fácil instalación.
- Las antenas montadas en los terminales necesarios son de pequeño tamaño (menores de 2.4 metros, típicamente 1.3 metros).
- Las velocidades disponibles suelen ser del orden de 56 a 64 Kbps. (Kilo bits por segundo).
- Permite la transferencia de datos, voz y video.
- La red puede tener gran densidad (1,000 estaciones VSAT) y está controlada por una estación central llamada HUB que organiza el tráfico entre terminales, y optimiza el acceso a la capacidad del satélite.

- Enlaces asimétricos.
- Las bandas de funcionamiento suelen ser K (14/11 GHz) o C (6/4 GHz), donde se da alta potencia en transmisión y buena sensibilidad en recepción.

Debido a todo esto, entra a competir directamente con redes como la Red Pública de Transmisión de Paquetes X.25, la Red Digital de Servicios Integrados o Red Digital Punto a Punto. Cabe destacar su rápida y masiva implantación en Europa, Asia y Estados Unidos, lo que está facilitando un acercamiento sin precedentes de las ventajas del satélite al usuario de servicios de telecomunicación.

1.2 Transmisión de datos, voz y video en sistemas VSAT

Dependiendo de las aplicaciones del usuario, este puede querer transmitir una sola señal, como por ejemplo datos, o una mezcla de señales, como voz y video. Tanto voz como datos son transmitidos en formato digital, mientras que la transmisión del video puede ser analógica o digital. Es en la transmisión del video, donde juegan un papel importante las técnicas de compresión de señal de video como MPEG (Multimedia Photografic Expert Group), para un uso más eficiente del ancho de banda de transmisión.

- VOZ: la transmisión de voz sólo tiene interés en redes bidireccionales. La transmisión puede darse a tasas muy bajas usando vocoders (codificación de voz). Pueden ser multiplexadas con transmisión de datos típicamente en canales de 64 Kbps.

La transmisión sufre un retardo de unos 50 mseg. por el vocoder, y de unos 500 mseg. por el enlace.

- **DATOS:** las velocidades de transmisión de datos van desde 50 a 64 Kbps, con interfaces tipo RS-232, y V28 para tasas menores de 20 Kbps. La transmisión a mayores velocidades (generalmente hasta 128 Kbps), usan RS-422, RS-449, V11, V35 y X21. La distribución de datos se puede multiplexar con la transmisión de video usando el sistema de MAC (Múltiplex Analogue Components), De esta forma la transmisión sube hasta velocidades de 20 Mbps.
- **VIDEO:** en el enlace de subida (HUB-VSAT), se hace uso de estándares de TV con modulación FM, o bien puede ser implementado con MAC. En el enlace de bajada, debido a la baja tasa, se usa compresión y codificación digital. Debido a esto, sólo se transmiten imágenes, que no cambian sustancialmente en el tiempo.

1.3 Aplicaciones de las redes VSAT

a) Aplicaciones civiles (unidireccionales)

- Transmisión de datos de la Bolsa de Valores.
- Difusión de noticias.
- Educación a distancia.
- Hilo musical.
- Transmisión de datos de una red de comercios.
- Distribución de tendencias financieras y análisis.
- Teledetección de incendios

b) Aplicaciones civiles (Bidireccionales)

- Telenseñanza.
- Videoconferencia de baja calidad.
- E-Mail.
- Servicios de emergencia.
- Comunicaciones de voz.
- Telemetría y telecontrol de procesos distribuidos.
- Consulta a bases de datos.
- Monitorización de ventas y control de "stock".
- Transacciones bancarias y control de tarjetas de crédito.
- Periodismo electrónico.
- Televisión corporativa.

c) Aplicaciones militares

Las redes VSAT han sido adoptadas por diferentes ejércitos. Gracias a su flexibilidad, son idóneas para establecer enlaces temporales entre unidades del frente y el HUB que estaría situado cerca del cuartel general. La topología más adecuada es la de estrella. Se usa la BANDA X, que está entre los 7.25/8.4 GHz.

1.4 Ventajas y desventajas de una red VSAT

a) Ventajas de flexibilidad

- Fácil gestión de la red.

- Servicio independiente de la distancia.
- Cobertura global e inmediata.
- Fácil y rápida implantación en lugares de difícil acceso.
- Debido a la gran variedad de configuraciones que puede adoptar una red VSAT estas se pueden adaptar a las necesidades propias de cada compañía.
- Los enlaces asimétricos se adaptan a los requerimientos de transferencia de datos entre una estación central que transmite mucha información a estaciones lejanas que responden con poca información (si es que responden).
- Facilidad de reconfiguración y de ampliación de la red. El uso de un satélite hace que se pueda establecer contacto con cualquier punto dentro de su área de cobertura con lo que los receptores pueden cambiar de ubicación sin más cambio que la reorientación de su antena. Del mismo modo, la introducción de un nuevo terminal no afecta al funcionamiento de los demás.

b) Ventajas económicas

- Estabilidad de los costos de operación de la red durante un largo período. Una empresa puede ser propietaria de prácticamente todos los segmentos de la red. Esto hace que el presupuesto dedicado a comunicaciones se pueda establecer con gran exactitud. El único segmento del que la empresa no puede ser propietario es el segmento espacial pero sus precios son muy estables.
- Evita las restricciones que impone una red pública en cuanto a costes y puntos de acceso.

- Aumento de la productividad de la organización. Al haber un centro de monitorización y control de la red el tiempo medio entre fallo de la red aumenta considerablemente y la duración de los fallos suele ser corta. Por lo tanto la organización puede responder rápidamente a las peticiones de sus clientes gracias a un medio de comunicación fiable, lo que repercute en un aumento de la satisfacción de los mismos y un aumento de las ventas.
- Se puede implantar una red corporativa insensible a fluctuaciones de las tarifas.

c) Desventajas de tipo económicas

- Las inversiones iniciales son elevadas y en algunos países no son claramente competitivas frente a redes basadas en recursos terrestres. Este problema puede ser atenuado recurriendo al alquiler del HUB.

d) Problemas radioeléctricos

- El retardo de propagación típico 0.5 seg. (doble salto) puede ser problemático para ciertas aplicaciones como telefonía y videoconferencia, pero también existen aplicaciones insensibles a él, como por ejemplo la actualización de software, e-mail, transferencias de ficheros.
- El punto más crítico de la red esta en el satélite. Toda la red depende de la disponibilidad del satélite. Si este cae, toda la red cae con él.

De todas maneras el problema no es muy grave pues si el problema esta en un transpondedor un simple cambio de frecuencia y/o polarización lo soluciona. En caso de ser todo el satélite bastaría con reorientar las antenas a otro satélite.

- Como todo sistema basado en satélites es sensible a interferencias provenientes tanto de tierra como del espacio.

e) Problemas de privacidad

- El uso de un satélite geoestacionario como repetidor hace posible que cualquier usuario no autorizado pueda recibir una portadora y demodular la información. Para prevenir el uso no autorizado de la información se puede encriptar.

1.5 Acceso múltiple

Se entiende por acceso múltiple la posibilidad ofrecida a las estaciones terrenas de interconectarse simultáneamente a través de un satélite que actúa como repetidor compartido por todas las estaciones.

El acceso múltiple constituye una característica del tráfico y está relacionado con el sistema de modulación que se emplee, aunque conceptualmente es distinto de la modulación.

Sin embargo, la vinculación es bastante estrecha, por lo que generalmente se supone que un determinado método de modulación es inherente a una modalidad específica de acceso múltiple.

En las técnicas de acceso múltiple, además de la modulación, la señal de banda de base es objeto de algún tratamiento previo, como por ejemplo la interpolación, para aumentar la eficacia del acceso múltiple.

Cada estación terrena dispone de un terminal de tratamiento de señal, modulador y transmisor que accede individualmente al satélite en el trayecto ascendente. En el descendente, la modalidad de transmisión suele ser por difusión, esto es, va dirigida a todas las estaciones participantes, cada una de las cuales extrae la información destinada a ella, para lo cual dispone de un receptor de banda ancha y dispositivos de selección y extracción de la señal.

El satélite debe comprender una o más cadenas de tratamiento de señales que efectúan funciones de traslación de frecuencias, amplificación y filtrado. Las señales se reúnen en un combinador, desde el cual se conectan al haz o haces de antena para su retransmisión a las estaciones terrenas receptoras.

En explotación comercial hoy día existen dos modalidades de acceso múltiple: FDMA (Acceso múltiple por división de frecuencia) y TDMA (Acceso múltiple por división de tiempo).

1.5.1 Acceso múltiple por división de Frecuencia (FDMA)

En esta modalidad se distribuye la anchura de banda disponible (500 MHz) entre las estaciones participantes en el acceso múltiple. Cada estación, en sentido de transmisión hacia el satélite, transmite una o más portadoras multidestino, moduladas en frecuencia por señales telefónicas o señales de video. Como las portadoras son diferentes y están separados sus espectros por bandas de guarda, la interferencia mutua es muy pequeña.

La banda total disponible se divide para su tratamiento en el satélite en segmentos. Cada segmento de banda se aplica a un transpondedor del satélite, el cual efectúa la traslación de frecuencias y la amplificación de las señales contenidas en ese segmento.

La utilización de numerosas portadoras por transpondedor mejora la conectividad y el acceso múltiple. Tiene, sin embargo, el inconveniente de que genera ruido de intermodulación en el amplificador del transpondedor, lo que obliga a que éste trabaje en condiciones de bajo rendimiento de potencia.

Desde el satélite se difunde toda la banda de 500 MHz. Así pues, cada portadora se radia hacia sus múltiples destinos, para su recepción por las estaciones participantes.

Estas pueden ser de banda ancha (lo más usual), en cuyo caso reciben los 500 MHz y sintonizan las portadoras de la banda que contengan canales destinados a ellas, extrayendo, subsiguientemente, estos canales en su equipo múltiplex de recepción. Las estaciones de banda estrecha sintonizan generalmente una portadora monocanal.

Para países que transmiten/reciben ordinariamente poco tráfico, es innecesaria y antieconómica la asignación fija de canales. Por este motivo, se han desarrollado variantes de FDMA de poca capacidad, denominados sistemas de un solo canal por portadora (SCPC), a los que se destina un transpondedor específico del satélite. Las estaciones pueden disponer de portadoras SCPC asignadas permanentemente o acceder a ellas a petición, cuando tengan tráfico que cursar, lo cual constituye la base de los sistemas de acceso en demanda DAMA.

En los sistemas DAMA existe una reserva común de canales (pool) de un transpondedor específico, que se toman y liberan por las estaciones solicitantes. Pueden también emplearse para cursar el tráfico de desbordamiento de circuitos con asignación fija. De entre los sistemas DAMA, merece destacarse el SPADE (Single Channel per Carrier PCM Multiple Access Demand Assignment Equipment), que es un sistema de acceso múltiple con asignación por demanda y un solo canal por portadora.

1.5.2 Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)

El TDMA es una técnica de acceso múltiple, según la cual las estaciones se enlazan entre sí mediante el acceso al satélite de manera discontinua y periódica, transmitiéndose la información en cada acceso en forma de ráfagas.

El sistema se organiza mediante una estructura de trama temporal que se divide en intervalos de tiempo o de longitud, en general, variable. Cada participante en el TDMA accede al satélite transmitiendo su información en el intervalo de tiempo que tiene asignado, una vez por trama. En el período que media entre dos intervalos de acceso de un participante, éste debe almacenar la información para transmitirla cuando llegue su siguiente turno. Ello obliga a que la información sea de tipo digital, por lo que TDMA sólo es aplicable a sistemas digitales.

Cada participante transmite en la misma frecuencia, ya que, en su intervalo, es el único usuario del enlace y tiene todo el transpondedor del satélite a su disposición. Como cada instante solamente hay presente una portadora, no existen problemas de intermodulación, pudiéndose hacer trabajar el amplificador del transpondedor en saturación, con el máximo rendimiento.

Es preciso regular el acceso de cada participante al satélite, de forma que se efectúe en el momento preciso, para evitar colisiones con intervalos emitidos por otras estaciones.

Por la misma razón, se prevén tiempos de guarda entre intervalos, ya que los tiempos de llegada al satélite de las ráfagas procedentes de los participantes no son exactamente iguales, puesto que las distancias estación terrena-satélite tampoco lo son.

Los tiempos de guarda, aunque necesarios, son tiempos muertos, por lo que deben reducirse a un mínimo compatible con la protección contra colisiones. En la práctica, se adoptan valores comprendidos entre 100 y 200 ns.

Con el fin de regular el acceso de los participantes y establecer una referencia de temporización, el sistema dispone de una o dos estaciones de referencia que cursan tráfico. Realmente, el TDMA solamente se produce en los enlaces ascendentes de los participantes al satélite.

El satélite recibe secuencialmente las ráfagas procedentes de cada participante, las pone en trama y las devuelve a tierra en la portadora del enlace descendente en forma de señal múltiplex por división de tiempo (TDM). En recepción, cada participante extrae de esa trama TDM la información contenida en los intervalos de tiempo de sus colaterales.

En las primeras versiones de TDMA, el satélite no efectuaba ningún tratamiento de los intervalos, sino que se limitaba a su recepción, entramada, amplificación y retransmisión en TDM. Modernamente, se puede realizar a bordo una conmutación de intervalos de tiempo, reencaminándolos a la tierra por haces de antena diferentes. Una trama es un ciclo completo de intervalos de acceso, que se inicia con los intervalos asignados a las estaciones de referencia.

Generalmente, para mayor seguridad, hay dos estaciones de referencia. Los participantes pasan a la segunda en caso de un fallo en la primera. Cada trama tiene N intervalos de longitud, en general variable, que es función de la carga de tráfico de cada participante en un momento dado.

1.5.3 Comparación entre FDMA/TDMA

El método FDMA hace uso de una técnica bien conocida y experimentada, la modulación de frecuencia, siendo de relativamente fácil aplicación. No requiere temporización. Plantea problemas de generación de ruido de intermodulación en caso de funcionamiento de un transpondedor con varias portadoras, lo cual exige el control y la reducción del punto de trabajo de los amplificadores con merma de su eficacia.

El método TDMA permite utilizar toda la potencia disponible y es flexible a la variabilidad del tráfico por ajuste dinámico de los intervalos de tiempo. Su formato digital lo hace compatible con el empleo de técnicas de codificación para control de errores y señales digitales en su origen. Sin embargo, requiere efectuar conversiones Analógico-Digital y Digital-Analógico para las señales telefónicas, lo que exige disponer de interfaces con los sistemas FDM. Necesita, debido a su modalidad de funcionamiento discontinua, que se agrega al retardo propio del enlace por satélite, lo que obliga a la utilización de compensadores digitales de eco.

Requiere también una notable capacidad de almacenamiento y el proceso de la señal. Pese a ello, es la técnica que se está imponiendo en las comunicaciones por satélite.

1.6 Acceso múltiple aleatorio (ALOHA)

El acceso múltiple aleatorio es una técnica utilizada para comunicaciones no coordinadas entre sistemas de computadoras. Se puede considerar también como un sistema TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo) no coordinado.

El usuario transmite una ráfaga de datos (uno o varios paquetes), con información de dirección completa, en un momento determinado únicamente por la necesidad de comunicación en el extremo de origen, con independencia de que pueda haber otros usuarios pretendiendo el acceso al repetidor. La capacidad máxima de transmisión de datos del sistema estará determinada por una probabilidad aceptable de colisión de ráfagas. Como es lógico, es poco el uso que se hace de la capacidad del repetidor, lo cual está compensado por la simplicidad del sistema.

a) ALOHA CONVENCIONAL

Todos los participantes tienen libre acceso al canal, sin ningún tipo de sincronización. Cada participante accede cuando necesita transmitir si el canal está libre. No existe ningún problema hasta que dos terminales intentan acceder al canal simultáneamente lo que produce una colisión.

Para resolver estos casos el sistema esta provisto de un algoritmo que regula las retransmisiones intentando minimizar la probabilidad de recoliación.

b) ALOHA RANURADO (S-ALOHA)

El principio es el mismo que el anterior con la excepci3n de que ahora el tiempo est1 dividido en "slots" lo que implica un sincronismo entre los participantes. Este protocolo tiene mejor comportamiento.

c) ALOHA CON RECHAZO SELECTIVO

Los mensajes son enviados de manera asincrona como en el ALOHA no ranurado pero est1n partidos en un cierto n1mero de peque1os paquetes. Los paquetes que lleguen indemnes a su destino (no se detecta colisi3n) no se retransmiten. El inconveniente es que cada paquete necesita cabecera y esto equivale a una perdida de eficiencia.

d) TDMA CON RESERVACION/ALEATORIO (MIXTO)

Inicialmente el sistema esta en modo S-ALOHA. Cuando llega un mensaje al "buffer", el terminal eval1a su longitud. Si el mensaje puede transmitirse en un solo slot, lo env1a controlando la colisi3n. Si no, env1a un paquete de control para reservar un canal libre de colisiones durante un n1mero determinado de slots (igual a la longitud del mensaje). En este caso tambi1n hay que controlar las posibles colisiones, una vez se ha asignado un canal, el protocolo se comporta como un TDMA tradicional.

1.7 Retardo

El retardo es el tiempo que tarda un mensaje en ser transferido del transmisor al receptor.

Los componentes del retardo son:

a) Retardo en el VSAT.

- En la cola de transmisión/recepción.
- Tiempo de proceso.
- Retardo debido al protocolo.
- Tiempo empleado en manejar información de control(tiempo de servicio).

b) Retardo en la transmisión vía satélite.

c) Retardo en el HUB.

- En la cola de transmisión/recepción.
- Tiempo de proceso.
- Tiempo empleado en manejar información de control (tiempo de servicio).

2 ELEMENTOS DE UNA RED VSAT

2.1 La estación HUB

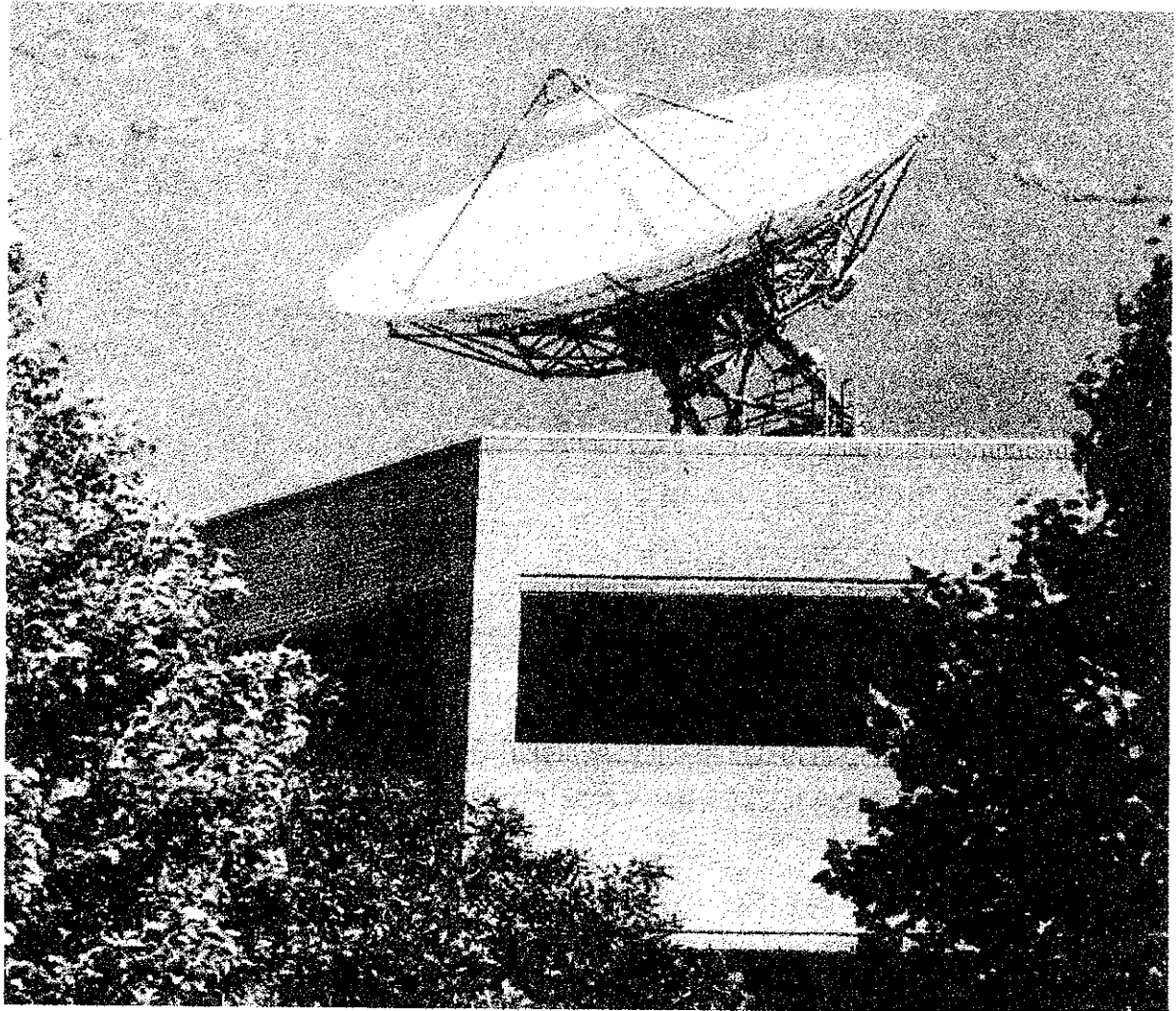


FIGURA 1 Estación terrena (HUB)

El HUB es una estación más dentro de la red pero con la particularidad de que es más grande (la antena típicamente es de 4 a 10 metros y maneja más potencia de emisión).

Habitualmente el HUB esta situado en la sede central de la empresa que usa la red o en su centro de cálculo.

Este punto es el que supone un mayor desembolso para una empresa por lo que se tiene la posibilidad de tener el HUB en propiedad o alquilado.

Diagrama de bloques de una estación HUB:

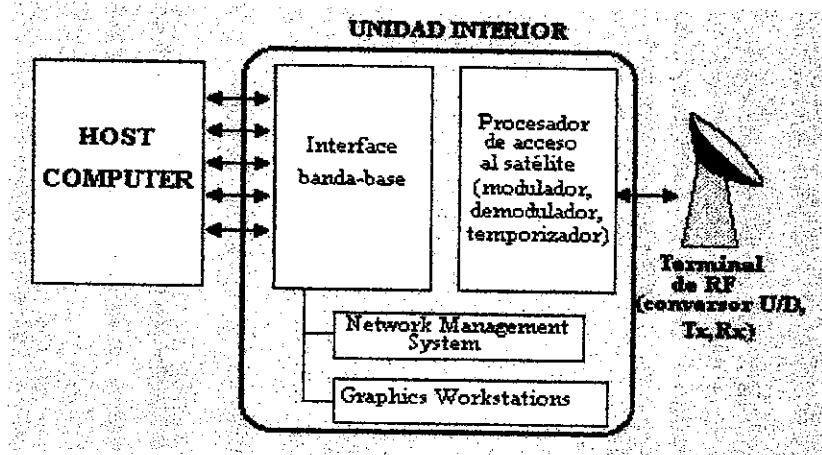


FIGURA 2 Diagrama de bloques de una estación HUB

El HUB está compuesto por :

- a) Unidad de RF (Radio Frecuencia).
- b) Unidad interna IDU (InDoor unit).
- c) Sistema de administración de la red (Network Management System, NMS)

- a) Unidad de Radio Frecuencia (RF):

La unidad de RF se encarga de transmitir y recibir las señales. Su diagrama de bloques completo sería similar al de la ODU (OutDoor Unit, ver figura 5) de terminal VSAT.

- b) Unidad interna:

A diferencia de la IDU del VSAT, aquí esta unidad puede estar conectada a la computadora que se encarga de administrar la red corporativa.

Esta conexión puede ser directa o bien a través de una red pública conmutada o una línea privada dependiendo de si el HUB es propio o compartido.

- c) Network Management System

Desde el HUB se monitoriza toda la red de VSAT's. De ello se ocupa el Network Management System (NMS). El NMS es un computador o estación de trabajo que realiza diversas tareas como:

- Configurar la red (puede desearse funcionar como una red de broadcast, estrella o malla).

- Control y alarma.
- Monitorización del tráfico.
- Control de los terminales:
 - Habilitación y deshabilitación de terminales existentes
 - Inclusión de nuevos terminales.
 - Actualización del software de red de los terminales.
- Tareas administrativas:
 - Inventario de los terminales.
 - Mantenimiento
 - Confección de informes.
 - Tarifificación (en caso de ser un HUB compartido).

Por lo que se ve gran parte del éxito de una red VSAT radica en la calidad del NMS y en su respuesta a las necesidades de los usuarios.

2.2 El segmento espacial

En el aspecto espacial, para la instalación de redes VSAT se usan:

- Satélites geoestacionarios.
- Bandas de frecuencias específicas para aplicaciones VSAT.

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.
- Es un canal compartido por lo que se necesita usar alguna técnica o protocolo de acceso al medio (FDMA, TDMA, DAMA, etc.....).
- Es el único punto de la red que no puede ser manejado con total libertad por el instalador de una red VSAT. Debe ser contratado a empresas o consorcios proveedores de capacidad espacial.

2.2.1 Satélite geoestacionario

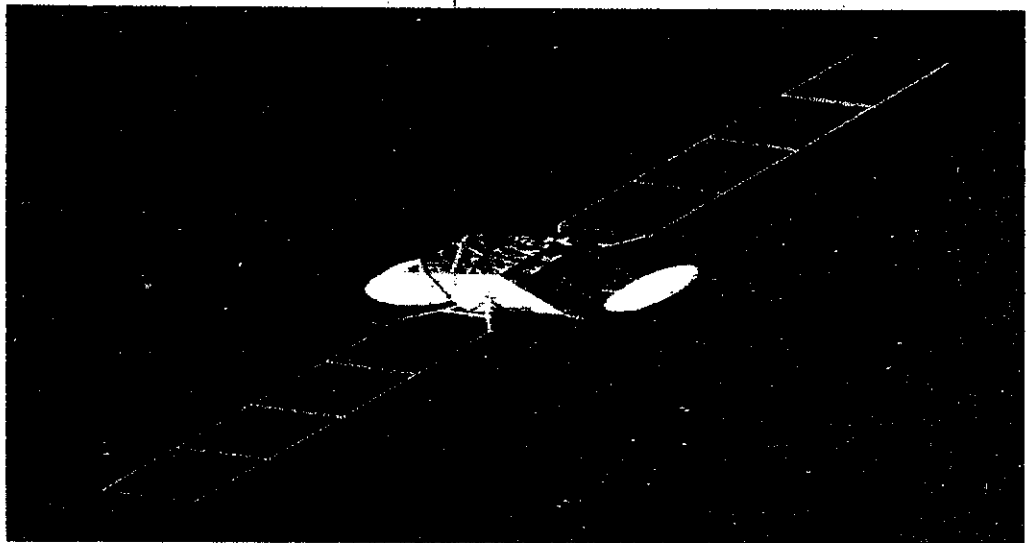


FIGURA 3: Satélite de INTELSAT

Un satélite geoestacionario tiene una órbita circular en el plano ecuatorial a una altura de 35,786 km. de período 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 coste de los equipos VSAT sean bajos. 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.

El proveedor del servicio fijo de satélite que se usa para implementar redes VSAT proporciona un cierto número de canales dentro de un transpondedor. Un transpondedor puede llegar a manejar de 10 a 15 redes de tamaño típico de 500 VSATs. El ancho de banda dedicado a la red VSAT depende de:

- Las tasas de Bps (Bitios por segundo) que se desee (típicamente para el INBOUND: 128 o 64 kbps y para el OUTBOUND: 128 a 512 kbps). La elección depende mucho del tamaño de la antena del VSAT.
- Del tipo de asignación del canal (TDMA, FDMA, DA-TDMA, etc...).

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

2.2.2 Bandas de frecuencias

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

- Banda C (3,400-4,200 MHz.; 4,400-4,700 MHz.; 5,725-6,425 MHz.;;) o banda Ku (10.95-14.50 GHz.) para aplicaciones civiles.
- Banda X (7,250-7,750 MHz.) para aplicaciones militares.
- Banda Ka (17.7-21.2 GHz; 27.5-31 GHz) para sistemas experimentales.

a) Cobertura:

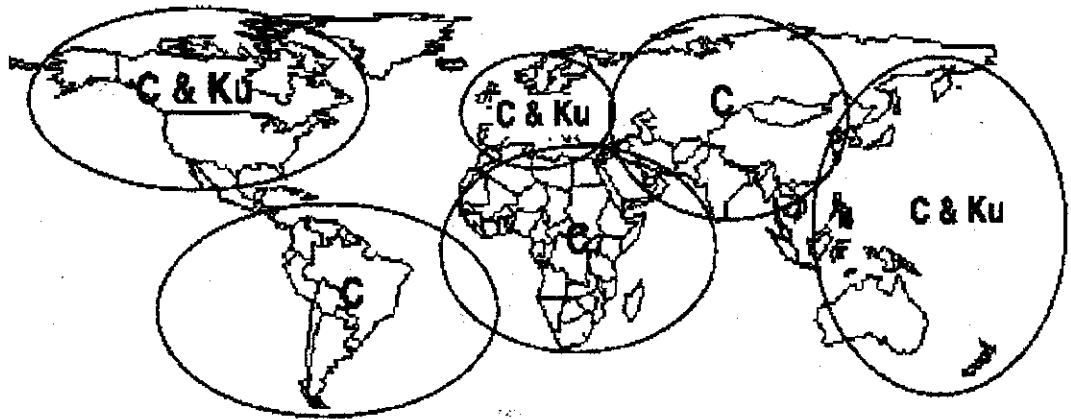


FIGURA 4: Diagrama de cobertura mundial de las bandas C y Ku.

No todas las zonas de la tierra tienen acceso a las bandas Ku (solo 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 (haz que cubre todos los continentes), zonal (haz que cubre ciertas zonas continentales) o tipo spot (haz que cubre un área en particular, por ej. Guatemala).

b) Elección de la banda de frecuencia por usar

La elección de una frecuencia u otra depende de:

- La disponibilidad de un satélite que cubra la zona donde va ha instalarse la red y que disponga de la banda deseada (ver figura 4).
- Problemas de interferencias. El ancho de haz de una antena es inversamente proporcional al producto de diámetro de la antena y frecuencia. Por lo que al usar antenas de pequeño diámetro el ancho de haz es grande y el peligro de recibir interferencia desde otros satélites (y también de interferir en ellos) es también grande. Para la banda C (y partes de la banda Ku) existe el peligro añadido de los sistemas terrestres de microondas.

Hay pues que tener en cuenta las ventajas y desventajas de cada una de estas bandas.

TABLA I: Ventajas y desventajas de las bandas de frecuencias

	VENTAJAS	DESVENTAJAS
BANDA "C"	<ul style="list-style-type: none"> * Disponibilidad mundial * Tecnología barata * Robustez contra atenuación por lluvia 	<ul style="list-style-type: none"> * Antenas parabólicas grandes (1 a 3 metros) * Susceptible de recibir y causar interferencias desde satélites adyacentes y sistemas terrestres que compartan la misma banda (se necesitaría en algunos casos recurrir a técnicas de espectro ensanchado y CDMA)
BANDA "Ku"	<ul style="list-style-type: none"> * Usos más eficientes 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.) 	<ul style="list-style-type: none"> * Hay regiones donde no esta disponible * Más sensible a las atenuaciones por lluvia. * Tecnología más cara.

2.3 Los terminales VSAT

Diagrama de bloques de una estación terrena:

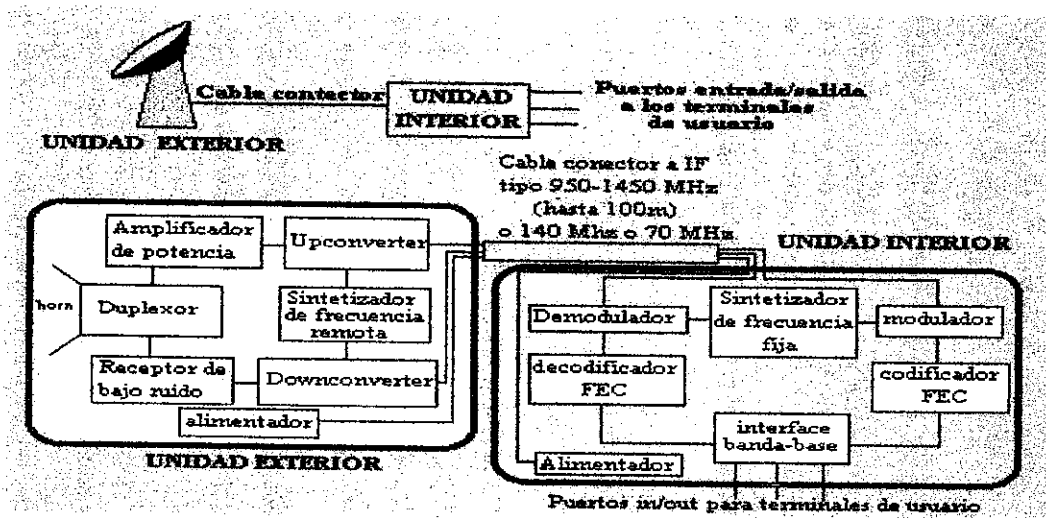


FIGURA 5: Diagrama de bloques detallado de una estación terrena

Una estación VSAT está compuesta por dos elementos:

- Unidad Exterior (Outdoor Unit), que es el interfaz entre satélite y VSAT.
- Unidad Interior (Indoor Unit), que es el interfaz entre el VSAT y el terminal de usuario o LAN.

a) La unidad exterior

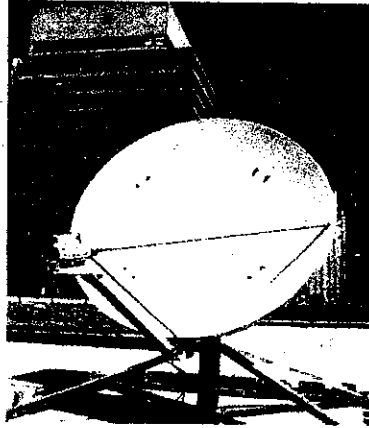


FIGURA 6: Antena VSAT

Básicamente, la unidad exterior se compone de los siguientes elementos:

- Antena.
- Sistemas electrónicos.
- Amplificador de transmisión.
 - Receptor de bajo ruido.
 - Sintetizador de frecuencia.
 - Osciladores para variar la frecuencia.
 - Duplexor.
 - Amplificador de potencia.

Los parámetros utilizados para evaluar la unidad exterior son:

- Finura espectral del transmisor y del receptor para el ajuste de la portadora en transmisión y para sintonizar adecuadamente la portadora en recepción.
- PIRE que condiciona la frecuencia del enlace de subida.

El PIRE depende de:

- Ganancia de antena.
- Potencia de salida.
- Figura de mérito G/T, que condiciona la frecuencia del enlace de bajada.

La razón G/T depende de:

- Ganancia de la antena.
- Temperatura de ruido del receptor.
- El diagrama de radiación de la antena, ya que la amplitud de los lóbulos secundarios (principalmente de los laterales) condiciona los niveles de interferencia recibida y producida.
- Temperatura ambiental de operación.
- Otros factores ambientales como humedad

b) La unidad interior

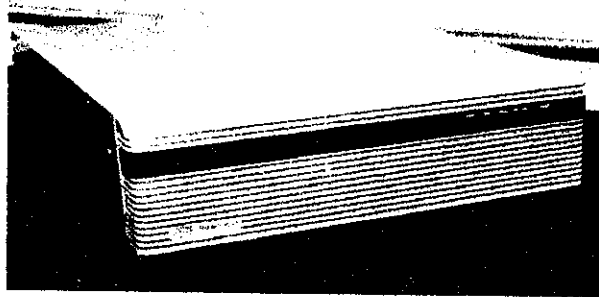


FIGURA 7: Unidad interior de un sistema VSAT

Los parámetros necesarios para especificar la unidad interior son:

- Número de puertos.
- Tipo de los puertos:
 - Mecánicos.
 - Eléctricos.
 - Funcionales.
 - Procedurales.
- Velocidad de los puertos. Es la máxima velocidad (bps) del flujo de datos entre el terminal de usuario y la unidad interior de VSAT en un puerto dado.

TABLA IV: Parámetros de las antenas

ITEM	HUB	VSAT
Tipo de antena	Reflector doble Cassegrain	Reflector simple offset
Diámetro	2-5 mts en hub pequeños 5-8 mts en hub medio 8-10 mts en hub grande	1.8-3.5 mts en banda C 1.2-1.8 mts en banda Ku
Aislamiento Tx/Rx	30 dB	35 dB
Relación de onda Estacionaria	< 1.25	< 1.3
Polarización	Lineal ortogonal en banda Ku Circular ortogonal en banda C	Lineal ortogonal en banda Ku Circular ortogonal en banda C
Ajuste de polarización	90° para polarización lineal	90° para polarización lineal
Nivel de lóbulo secundario	25-29 dB	25-29 dB
Excursión en azimut	120°	160°
Excursión en elevación	3° - 90°	3° - 90°
Viento	Estación en operación: hasta 70 Km/h Soporta: hasta 180 Km/h	Estación en operación: 100Km/h Soporta: hasta 210 Km/h
Deshielo	Eléctrico	Opcional

2.5 Configuraciones de una red VSAT

Las configuraciones típicas para una red VSAT son:

a) Estrella con comunicación

- Bidireccional.
- Unidireccional.

b) Malla

2.5.1 Red estrella

El uso de satélites geoestacionarios impone las siguientes limitaciones:

- Atenuaciones del orden de 200dB en salto de satélite.
- Potencia de emisión del satélite limitada a algunos watts.

Por otra parte, los terminales montan antenas de dimensiones reducidas y receptores con sensibilidad limitada.

Por lo tanto los enlaces directos entre VSAT's no cumplen requisitos mínimos de calidad por lo que se necesita una estación terrena que actúe de retransmisor. Lo que nos lleva configuraciones tipo estrella.

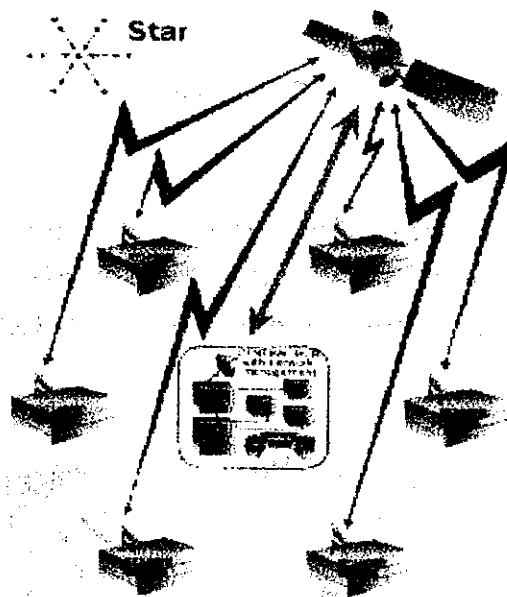


FIGURA 8: Configuración estrella para una red VSAT

Conviene esclarecer los términos INBOUND y OUTBOUND que son aplicables a las redes en estrella.

- **INBOUND:** transferencia de información desde un VSAT al HUB.
- **OUTBOUND:** transferencia de información desde el HUB a un VSAT.

Se habla de redes estrella bidireccionales cuando las aplicaciones requieren que se comuniquen los VSAT's con el HUB y viceversa (existen tanto inbounds como outbounds). Por el contrario, en las redes estrella unidireccional sólo hay comunicación desde el HUB hacia los VSAT's (sólo hay outbounds).

2.5.2 Red malla

Cuando es posible establecer un enlace directo entre dos VSAT's (cuando aumenta el tamaño de las antenas o la sensibilidad de los receptores) se habla de redes VSAT en malla.

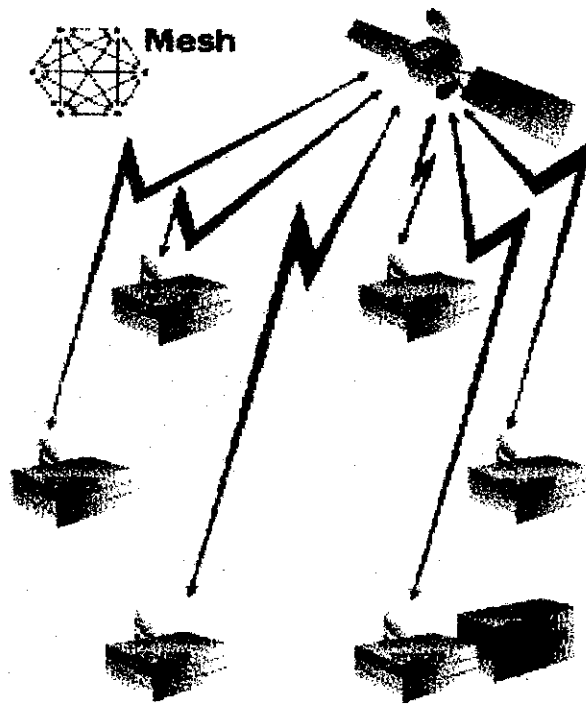


FIGURA 9: Configuración malla para una red VSAT

Naturalmente, con una red en estrella bidireccional se puede implementar una red en malla pura pero con el problema del retardo (0.5s debido al inevitable doble salto mientras que en una red en malla pura sería sólo de 0.25s).

Las aplicaciones de estas configuraciones en la actualidad son utilizadas en muchas partes del mundo.

La más usada es la red en estrella bidireccional. La configuración en malla no es demasiado usada debido a la necesidad de mejores VSAT's con lo que se pierde la principal ventaja de las redes VSAT.

Existen redes VSAT en malla usando banda Ka pero a nivel de investigación (esta banda permite al ser de una frecuencia mayor obtener mayor potencia recibida a igualdad de tamaños de antena).

La elección de un tipo u otro de configuración depende del tipo de aplicación que se dé.

3 ANÁLISIS DEL CÁLCULO DE ENLACE

3.1 Introducción al cálculo de enlace

Una comunicación satelital es una transmisión para comunicación entre dos o más estaciones terrenas. Esta transmisión tiene ciertos recursos, específicamente potencia y ancho de banda. Los ingenieros en comunicaciones deben usar esos recursos de forma eficiente y económica.

Normalmente, los clientes de sistemas de comunicaciones proporcionan el tipo y calidad de servicio requerido. Los ingenieros en comunicaciones trasladan estos requerimientos al tipo de portadora que mejor se ajuste al enlace satelital y la calidad de señal requerida. La calidad puede ser expresada en muchas formas. Una forma conveniente es estipular la relación de portadora a densidad de potencia. Esta cantidad es independiente del ancho de banda y puede ser derivado de los parámetros del enlace satelital. La calidad de la señal también puede, ser expresada como la razón señal a ruido requerido en el ancho de banda ocupado por la señal.

Para satisfacer los requerimientos de comunicación del cliente, los ingenieros en comunicaciones preparan cálculo de potencia del enlace, usualmente llamado CÁLCULO DE ENLACE. Este cálculo asigna los recursos disponibles del satélite ajustando los parámetros de transmisión y recepción de la estación terrena.

El cálculo de enlace ayuda en el diseño de la selección del mejor enlace. Esta es una herramienta muy útil para ajustar los requerimientos del servicio de una manera más económica.

El primer número en un cálculo de enlace es la potencia de transmisión. Esta potencia atraviesa por amplificadores y algunas pérdidas, la cuales determinan cantidad y calidad de la señal recibida. El cálculo de enlace está diseñado tanto para servicios analógicos como digitales.

3.2 Cálculos en decibeles

Los decibeles fueron primeramente usados en las medidas de intensidad del sonido. La unidad de esta escala fue establecida como la mínima intensidad que puede ser escuchada (alrededor de 1 pW/m^2). La abreviatura del decibel es dB.

Los cálculos de enlace son también obtenidos usando una escala logarítmica, y las cantidades son expresadas en decibeles. La principal razón para esto es lo siguiente:

- La notación de decibeles simplifica el manejo de razones en cálculos para convertir la multiplicación de números en suma de sus logaritmos. La suma es más fácil que la multiplicación para muchas personas.

- La notación de decibeles hace fácil la escritura y comprensión de pequeñas y grandes razones. Las razones usadas en los cálculos de enlace pueden tener rangos de trillones (10^{12}) a miles (10^3).

Una razón R puede ser expresada en decibeles como:

$$R = 10 \log_{10} R^* \quad (\text{dB}) \quad (3.1)$$

Donde \log_{10} es el logaritmo de base 10. En la ecuación el asterisco (*) es usado para mostrar que la razón es absoluta; la falta de un asterisco denota la razón en decibeles.

Algunas veces las cantidades absolutas son necesarias, y las cantidades en decibeles deberán ser reconvertidas a sus valores absolutos correspondientes. Resolviendo la ecuación (3.1) para R^* resulta:

$$R^* = 10^{R/10} \quad (\text{razón}) \quad (3.2)$$

La ecuación (3.2) es entonces equivalente a:

$$R^* = A \log_{10} (R/10) \quad (\text{razón}) \quad (3.3)$$

Una expresión similar es usada para cantidades absolutas que no son razones. Se utilizará como referencia de potencia $P_1 = 1 \text{ W}$. Entonces la potencia P en dBW es:

$$P = 10 \log_{10}(P^*/P_1^*) \quad (\text{dBW}) \quad (3.4)$$

o simplemente

$$P = 10 \log_{10} P^* \quad (\text{dBW}) \quad (3.5)$$

Muchas otras cantidades usan una notación similar. Una medida del nivel de iluminación en W/m^2 puede ser expresada en dBW/m^2 . Ciertamente, las cantidades, tales como la ganancia de una antena (G), son usualmente expresadas en notación decibel. Otras cantidades, tales como la potencia de transmisión, son usualmente expresadas en unidades absolutas.

La tabla V (ver al final del capítulo) lista los parámetros usados en este capítulo, los cuales son normalmente expresados en decibeles.

3.2.1 Valores numéricos

El uso de decibeles en los cálculos de enlace están mostrados en la tabla VI.

La segunda columna lista ya sea la potencia en W o una razón a través de la cual la potencia cambia. La potencia inicial de 1,000 W es primero multiplicada por 0.5 (una pérdida de transmisión) produce 500 W. Ésta es multiplicada por 10,000, y finalmente por 10^{-20} y por 100 ya que la antena de la estación terrena enfoca la potencia hacia el satélite.

Los 1,000 W transmitidos ven al satélite como unos 5,000,000 W transmitidos isotropicamente. Pero la distancia al satélite es tan grande que la potencia transmitida es multiplicada por 10^{-20} lo que nos da 5×10^{-14} W. Esta potencia es amplificada por la antena de la estación terrena (multiplicada por 100) y obtenemos 5×10^{-12} W.

La siguiente columna muestra los mismos números en notación de decibeles.

En esta columna los decibeles están sumados y no multiplicados, lo que nos da los totales que aparecen debajo de cada línea. La última columna, etiquetada "Exponente", contiene los números absolutos en forma exponencial. Note que los decibeles son meramente los exponentes multiplicados por 10.

3.2.2 Ecuaciones con decibeles

En las ecuaciones con decibeles todos los términos deberán estar en decibeles. Esto es particularmente importante porque a veces se usa una notación taquigráfica para ecuaciones con decibeles.

Como un simple ejemplo, suponga que G_A y G_B representan las ganancias (razón de la potencia de salida a potencia de entrada) de los amplificadores A y B. En términos absolutos, la ganancia total G_{tot} de los dos amplificadores en serie es el producto de las dos ganancias individuales.

$$G_{tot}^* = G_A^* G_B^* \quad (\text{razón}) \quad (3.6)$$

Para cambiar ésta a una ecuación decibel:

$$\log_{10} AB = \log_{10} A + \log_{10} B \quad (3.7)$$

Entonces la ecuación (3.6) da:

$$10 \log_{10} G_{tot}^* = 10 \log_{10} G_A^* + 10 \log_{10} G_B^* \text{ (dB)} \quad (3.8)$$

Los dB en el paréntesis muestran que el resultado es la ganancia en dB.

En notación decibel la ganancia total G_{tot} de los dos amplificadores en serie se escribe como:

$$G_{tot} = G_A + G_B \quad (\text{dB}) \quad (3.9)$$

Cada término en una ecuación decibel está en decibeles, y en la ecuación de arriba cada ganancia de antena G representa el término completo $10 \log_{10} G^*$ mostrado en la ecuación (3.8). La notación taquigráfica claramente salva mucha escritura, y, con los (dB) en el lado derecho, no deberían causar confusión.

3.2.3 Manipulaciones algebraicas

Para una ecuación más compleja, consideremos la ecuación abajo mostrada, la potencia de portadora recibida C.

La potencia de la señal recibida es nombrada como la potencia de portadora C para diferenciarla de la potencia de ruido la cual también es recibida. La ecuación es:

$$C^* = \frac{P^* G_t^* A_e}{(4\pi S^2)} \quad (W) \quad (3.10)$$

Donde P es la potencia transmitida, G_t es la ganancia de la antena que transmite, A_e es el área efectiva de la antena que recibe. Las cantidades C y P deberán estar en las mismas unidades, tal como m^2 .

Cambiando la ecuación (3.10) a una ecuación decibel:

$$\begin{aligned}
 10 \log_{10} C^* &= 10 \log_{10} P^* + 10 \log_{10} G_t^* \\
 &+ 10 \log_{10} A_e - 10 \log_{10} S^2 \\
 &- 10 \log_{10} 4\pi \quad \quad \quad (\text{dBW}) \quad (3.11)
 \end{aligned}$$

La ecuación de arriba puede ser escrita como:

$$\begin{aligned}
 C &= 10 \log_{10} P^* + G_t + 10 \log_{10} A_e - 20 \log_{10} S \\
 &- 10 \log_{10} 4\pi \quad \quad \quad (\text{dBW}) \quad (3.12)
 \end{aligned}$$

Las cantidades P , G_t , A_e , y S son cantidades variables, el último término $10 \log_{10} 4\pi$ es aproximado y puede ser escrito como 11.0 dB.

Las unidades utilizadas para los términos en la ecuación (3.12) son dBW, dB, dBm², dBkm² y dB.

En la ecuación decibel para el calculo de enlace, la conversión de unidades son usualmente incluidas en la ecuación. Cuando esto está hecho la ecuación decibel queda:

$$\begin{aligned}
 C &= 10 \log_{10} P^* + G_t + 10 \log_{10} A_e - \\
 &- 20 \log_{10} S - 71.0 \quad \quad \quad (\text{dBW}) \quad (3.13)
 \end{aligned}$$

En esta ecuación el término 71.0 incluye el término 60 dB (1,000 m/km), que es $10 \log_{10} [4\pi (1,000 \text{ m/km})] = 71.0 \text{ dBm}^2/\text{km}^2$. Además, en esta ecuación el área de la antena A_e esta en m^2 , y la distancia S esta en km.

Para comprobar las unidades de la ecuación (3.13), las unidades para cada término del lado derecho pueden escribirse como:

$$\text{dBW} + \text{dB} + \text{dBm}^2 - \text{dBkm}^2 - \text{dBm}^2/\text{km}^2 \quad (?) \quad (3.14)$$

La ecuación muestra a primera vista que no tiene las mismas unidades. La potencia P esta en W, o sea que el primer término esta en dBW. El área A_e esta en m^2 , o sea el tercer término esta en dBm^2 . La distancia S esta en km, pero aunque el coeficiente es 20, la distancia sigue siendo cuadrada, y el término es dBkm^2 . El último término, dBm^2/km^2 , puede ser escrito como $\text{dBm}^2 - \text{dBkm}^2$. En la comprobación de dimensionales, se nota que todos los términos están en decibeles. Los términos en dBm^2 y dBkm^2 se cancelan. Los términos con dB son dejados. El único término resultante es dBW. Este concuerda con C al lado izquierdo de la ecuación, ya que es dBW.

3.3 Conceptos para un cálculo de enlace

Un exacto calculo de enlace incluye muchos detalles en su desarrollo. Debemos comprender primero los principios básicos de un cálculo de enlace para evitar confusiones cuando se entre en detalle. Para ésto, un número de parámetros deberán se comprendidos.

La ecuación general para un cálculo aproximado es:

$$\text{Enlace total} = C/kT(\text{enlace subida}) + C/N(\text{enlace bajada})$$

Cada término de esta ecuación general son enumerados y explicados a continuación:

- Potencia de transmisión P en la antena (W)
- Ganancia de la antena G (dBi)
- Potencia isotrópica radiada equivalente PIRE (dBW)
- Nivel de iluminación W en el receptor (dBW/m²)
- Pérdidas en el espacio libre L (dB)
- Temperatura de ruido T (K)
- Figura de mérito para el sistema de recepción G/T_s (dBi/K)
- Razón portadora a ruido térmico C/T (dBW/K)
- Razón portadora a densidad de ruido C/N_o (dBHz)
- Razón portadora a ruido C/N en un ancho de banda B (dB)
- Tasa de error de bit

Todos estos parámetros son importantes para comunicaciones satelitales.

3.3.1 Potencia de transmisión (P)

El comienzo de la transmisión de radiofrecuencia (RF) a través del espacio, y el primer número en el cálculo de enlace, es la potencia de transmisión. La potencia de transmisión es frecuentemente ajustada para obtener el rendimiento deseado. Para los satélites la potencia de transmisión es frecuentemente limitada por la fuente de potencia de corriente directa disponible que es cargada por los rayos solares. Muchos transpondedores satelitales están en el rango de 10 a 200 W. El rango para transmisión de una estación terrena esta de 1 a 10,000 W.

La potencia transmitida P es usualmente especificada en W (Watts), y no en dBW. En la ecuación decibel el término para la potencia de transmisión es entonces mostrada como:

$$P = 10 \log_{10} P^* \quad (\text{dBW}) \quad (3.15)$$

Donde P* es el valor absoluto en W y P esta en dBW.

Hay algunas pérdidas entre la salida del transmisor y el alimentador de la antena.

Si las pérdidas son significativas, la potencia de transmisión puede medirse en la entrada de la antena. Este es un lugar práctico para hacer mediciones. Las pérdidas antes de este punto son descontadas de la potencia de transmisión original.

3.3.2 Ganancia de la antena (G)

El propósito de una antena transmisora es enfocar la potencia de RF a la antena receptora. Su efectividad es medida como la ganancia de la antena, y es:

$$G^* \equiv \frac{\text{Potencia transmitida con la antena hacia el receptor}}{\text{Potencia transmitida fuera de la antena (isotrópica)}} \quad (\text{razón}) \quad (3.16)$$

Esta es una razón, con referencia en una antena isotrópica ideal.

La ganancia de la antena es usualmente expresada en dBi. La i en dBi indica que la razón se refiere a un radiador isotrópico. (Una ganancia podría referirse a una antena dipolar como dBd, pero esto no se hace en las comunicaciones satelitales). Cuando las unidades son combinadas en una ecuación, la unidad dBi es la misma que dB. La i en dBi no es una unidad física, y no es llevada en el cálculo. Esta es solamente usada por la ganancia de la antena G y la razón G/Ts (dBi/K).

La ganancia de la antena G de un reflector parabólico es:

$$G^* = \frac{4\pi\eta A}{\lambda^2} \quad (\text{razón}) \quad (3.17)$$

Donde A es el área física del reflector, η es la eficiencia de la antena (es un número menor que 1), y λ es la longitud de onda. El rango típico para la eficiencia de la antena es 0.4 a 0.8 y lo comúnmente usado es 0.55.

Para antenas circulares con un diámetro D, el área A es igual a $\pi D^2/4$. La longitud de onda λ es igual a la velocidad de la luz c dividida por la frecuencia f. O sea la ganancia de la antena puede escribirse como:

$$G^* = \eta (\pi D f / c)^2 \quad (\text{razón}) \quad (3.18)$$

Para efectos de calculo, la ganancia de la antena G es usualmente expresada en decibeles. Tomando el logaritmo de ambos lados, y multiplicando por 10, la ganancia de la antena puede escribirse como:

$$G = 20 \log_{10} D + 20 \log_{10} f + 10 \log_{10} \eta + 20.4 \quad (\text{dBi}) \quad (3.19)$$

Donde D es el diámetro en m, y f es la frecuencia en GHz. La eficiencia de la antena η esta expresada como un decimal, el cual es 0.55. La constante $20.4 \text{ dB/m}^2 \text{ GHz}^2$ es igual a $20 \log_{10} (\pi/c)$. La velocidad de la luz c es 0.299792458 m/ns . Las dimensiones de c son inusuales, pero apropiadas si f esta en GHz y D esta en m.

La ganancia de la antena aumenta linealmente con el área de la antena. Esta también se incrementa para frecuencias altas (pequeñas longitudes de onda). Para un área dada, una antena deberá tener una alta ganancia en la banda K que en banda "C".

La ganancia de la antena esta definida para los picos del haz de la antena. Las antenas del satélite pueden transmitir a varios receptores, y la ganancia de la antena variará levemente, dependiendo de los lugares de recepción. Si la antena no esta apuntando directamente hacia el receptor, habrá una pérdida por desapuntamiento.

Una antena de estación terrena típica tiene ganancias en rangos cercanos a pocos decibeles para uso en automóviles y camiones a 60 dBi para una antena grande usada para comunicaciones internacionales. Las antenas de los satélites no tiene ganancias tan grandes, y están usualmente en el rango de 14 a 40 dBi.

3.3.3 Potencia isotrópica radiada equivalente (PIRE)

La antena transmisora enfoca la potencia de RF hacia el receptor. El producto de la potencia transmitida P y la ganancia de la antena G_t es:

$$\text{PIRE}^* = P^* G_t^* \quad (\text{W}) \quad (3.20)$$

Donde G_t es la razón para la ganancia de la antena de transmisión. El término ampliamente usado PIRE se entiende para la potencia isotrópicamente radiada equivalente. Cuando una antena ha incrementado la potencia recibida por un cierto rango el receptor lo "ve" como un transmisor más poderoso.

La ecuación de arriba es usualmente escrita en decibeles como:

$$\text{PIRE} = 10 \log_{10} P^* + G \quad (\text{dBW}) \quad (3.21)$$

La potencia P esta en W, la ganancia G en dB, y el producto PIRE esta en dBW.

En la ecuación (3.21), el primer término de la derecha esta escrito en una notación larga, mostrando la función log, y el segundo término esta en una notación corta.

La razón para esta inconsistencia es que la potencia transmitida está dada normalmente en W, y la ganancia de la antena está siempre dada en dBi.

Como un ejemplo, y suponiendo que la potencia P es 50 W y la ganancia de la antena G es 26 dB. La potencia es primero convertida a 17 dBW, la cual puede entonces ser sumada a los 26 dB de la ganancia de la antena. El resultado es un PIRE de 43 dBW. Esto es equivalente a 20,000 W, esto puede ser verificado usando la ecuación (3.2). La respuesta puede ser comprobada encontrando que la ganancia de 26 dB es equivalente a una razón de 400 [ecuación (3.4)]. Multiplicando 50 W por esta razón obtenemos que son 20,000 W.

La ecuación con decibeles siempre tiene los logaritmos implícitos. La ecuación (3.21) se puede escribir con la notación larga así:

$$10 \log_{10} \text{PIRE}^* = 10 \log_{10} P^* + 10 \log_{10} G^* (\text{dBW}) \quad (3.22)$$

Los rangos típicos para el PIRE van de 0 a 90 dBW para una estación terrena y de 20 a 60 dBW para los satélites.

3.3.4 Nivel de iluminación (W)

La potencia de iluminación W es la potencia recibida por unidad de área, o la potencia recibida por una antena ideal (eficiencia = 1) con un metro cuadrado de área ($A = 1\text{m}^2$).

Si el transmisor es isotrópico, esto es, que radia uniformemente en todas direcciones, entonces la iluminación en un cierto rango de S deberá ser $P/4\pi S^2$. Con una ganancia de antena G_t , el nivel de iluminación W en el receptor es incrementado por esta razón, y es:

$$W^* = \frac{P^* G_t^*}{4\pi S^2} \quad (\text{W/m}^2) \quad (3.23)$$

Donde S es la distancia de el transmisor al receptor. Si la distancia esta en m , entonces la iluminación W esta en W/m^2 . El producto $P^* G_t^*$ es igual al PIRE, como se discutió anteriormente.

La ecuación puede ser escrita en forma de decibel tomando el logaritmo de ambos lados, y multiplicando por 10. Entonces el nivel de iluminación W es:

$$W = \text{PIRE} - 20 \log_{10} S - 71.0 \quad (\text{dBW/m}^2) \quad (3.24)$$

Donde el PIRE esta en dBW, la distancia S entre el transmisor y el receptor esta en km, y el nivel de iluminación W esta en dBW/m². La constante 71.0 dBm²/km² es igual a $10 \log_{10} [4\pi(1,000 \text{ m/km})^2]$.

Para satélites geostacionarios el nivel de iluminación en el satélite esta entre el rango de -162 a -52 dBW/m², y la iluminación de la tierra para el satélite esta entre -142 a -102 dBW/m².

3.3.5 Pérdidas en el espacio libre (L)

El concepto de pérdidas en el espacio libre es importante en el cálculo de enlace. Está es función de la distancia, pero para utilizar la longitud de onda está expresada como una razón (en dB). Las pérdidas del espacio libre no son solamente atribuibles a la potencia de recepción o a la distancia entre el transmisor y el receptor. Otro tipo de pérdida se da en la atmósfera. Hay que tomar en cuenta todas estas pérdidas, especialmente las causadas por la lluvia.

La potencia de portadora recibida es igual a la iluminación W veces el área efectiva de la antena de recepción. Multiplicando la ecuación (3.28) por el área efectiva ηA resulta que la potencia de portadora recibida C es:

$$C^* = \frac{\text{PIRE}^* \eta A}{4\pi S^2} \quad (W) \quad (3.25)$$

Donde PIRE es la potencia isotrópica radiada equivalente ($P^* \times G_t^*$), η es la eficiencia de la antena, A el área de la antena, y S la distancia entre el transmisor y el receptor. En la ecuación de arriba A y S^2 deben estar en las mismas unidades.

Como se lee en la sección 3.3.2, el rendimiento de la antena de transmisión está medida por la ganancia de la antena G_t . El rendimiento de la antena de recepción es proporcional a su área efectiva ηA . Sin embargo, las antenas son mecanismos pasivos recíprocos. Una antena puede ser usada para cualquier transmisión o recepción. Esto es bueno para usar los mismos criterios de rendimiento tanto para recepción como para transmisión.

En el cálculo de enlace el rendimiento de cualquier antena es medido por su ganancia. La ganancia de la antena G es encontrado fácilmente por la ecuación (3.14) así:

$$G^* = \frac{4\pi\eta A}{\lambda^2} \quad (\text{razón}) \quad (3.26)$$

Donde λ es la longitud de onda en metros. Resolviendo esta ecuación para el área efectiva ηA , y sustituyéndola en la ecuación (3.25) se obtiene:

$$C^* = \text{PIRE}^* \frac{\lambda^2}{(4\pi S)^2} G_r \quad (\text{W}) \quad (3.27)$$

La potencia de portadora recibida C es el producto de tres factores:

- El PIRE determinado por la potencia y la ganancia del transmisor
- La ganancia de la antena determinada por el receptor final del enlace
- El factor de en medio consistente en el resto del enlace, y el cual es una función de la longitud de onda λ y la distancia S.

El recíproco del término de en medio de la ecuación (3.27) es llamado la pérdida en el espacio libre L:

$$L^* \equiv \frac{(4\pi S)^2}{\lambda^2} \quad (\text{razón}) \quad (3.28)$$

Donde la distancia S y la longitud de onda λ deben ser compatibles en cuanto a unidades se refiere. Las pérdidas L es una razón grande, sin dimensiones.

La potencia de portadora recibida C puede escribirse como $\text{PIRE} \times (1/L) \times G_r$. Tomando el logaritmo de ambos lados, y multiplicando por 10 se obtiene la ecuación en forma decibel:

$$C = \text{PIRE} - L + G_r \quad (\text{dBW}) \quad (3.29)$$

La potencia recibida C y el PIRE están en dBW , mientras que las pérdidas L y la ganancia de la antena G_r son razones en dB y dBi , respectivamente. Los ingenieros en comunicaciones hablan de una pérdida de 196 dB como una cantidad positiva. Cuando se usa en el cálculo de enlace, como vimos en la ecuación (3.29), esta cantidad positiva es sustraída.

Las pérdidas en el espacio libre L están definidas en la ecuación (3.30). Es conveniente expresar las pérdidas como una función de la distancia S y la frecuencia f , que de la longitud de onda. La longitud de onda λ es igual a la velocidad de la luz c dividida por la frecuencia f en GHz ($\lambda = c/f$). De todas formas, usando convenientemente la unidades, la ecuación puede ser escrita en forma decibel como:

$$L = 20 \log_{10} S + 20 \log_{10} f + 92.45 \quad (\text{dB}) \quad (3.30)$$

Donde la distancia S esta en km y la frecuencia f en GHz .

La constante es $10 \log_{10} (4\pi/c) = 92.45 \text{ dB/km}^2 \text{ GHz}^2$, donde c es $0.000299792 \text{ km/GHz}$, o km/ns . Aunque la velocidad de la luz c podría ser escrita en unidades convencionales ($c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$), el factor de conversión es necesario para que la distancia S y la frecuencia f puedan estar en km y GHz , respectivamente.

Para satélites geoestacionarios la distancia S entre la estación terrena y el satélite es una función de la ubicación de la estación. La distancia mínima es de $35,788 \text{ km}$ para estar directamente abajo del satélite (máxima elevación). Esto ocurre para una estación terrena en el ecuador en la longitud del satélite. La máxima distancia es de $41,679 \text{ km}$ para una estación terrena en el borde de la tierra. En este caso el satélite está en mínima elevación, cercano al horizonte. Los valores típicos de las pérdidas en el espacio libre están dadas en la tabla VII para varias frecuencias.

3.3.6 Temperatura de ruido (T)

La potencia de portadora absoluta recibida C es importante solamente cuando se compara al ruido presente en el sistema. Cada una de las muchas portadoras involucradas en el satélite agregan ruido; tanto los sistemas final-a-final, o la razón portadora a ruido (C/N) son la mezcla de cada una de esas portadoras.

El ruido puede ser expresado en varias formas. En las comunicaciones satelitales este a veces es expresado como la temperatura de ruido equivalente T .

El sistema de temperatura de ruido está compuesto de varios factores, tales como la temperatura de ruido de la antena y la temperatura de ruido del receptor. Hay muchos factores que originan ruido.

Muchas no pueden ser relacionadas a una temperatura actual, pero la potencia de ruido puede expresarse como temperatura de ruido.

El ruido de la antena es frecuentemente relacionado a la temperatura del ambiente del cual la antena esta apuntando. La temperatura de ruido de la antena de una estación terrena debe estar en el rango de 30 K, para una buena antena viendo al espacio, a 10,000 K o más para una antena apuntando al sol. Para las antenas receptoras viendo a la tierra, la temperatura de ruido esta alrededor de los 290 K.

La razón G/T_s de la ganancia de la antena receptora a la temperatura de ruido es usada como una figura de mérito para el sistema de recepción. La razón de la potencia de portadora recibida C a ruido es comúnmente expresada en tres formas: C/T , C/kT , C/kTB . Esas tres razones son descritas en la siguiente sección.

3.3.6 Figura de mérito (G_r/T_s) para el sistema de recepción

Los dos parámetros importantes para el sistema de recepción son la ganancia de la antena de recepción G_r y el sistema de temperatura de ruido de recepción T_s .

Lo último es la suma del ruido de la antena, el amplificador de bajo ruido (LNA), y el ruido de algunas pérdidas elementales entre la antena y el LNA. La razón de G_r a T_s es llamada la figura de mérito, escrita como G/T_s . Las estaciones receptoras pueden estar mejoradas con ganancias de antena grandes G_r (diámetros de antena grandes), o una baja temperatura de ruido T_s (buen amplificador de bajo ruido).

La ganancia de la antena es usualmente dada en dBi (i por isotropica), y el sistema de temperatura de ruido T_s en K, además la figura de mérito G/T_s es en dBi/K. Los valores numéricos de la ganancia en dBi y la temperatura en K no pueden ser divididos. Uno está en decibeles, y el otro no. La temperatura de ruido puede ser convertida a decibeles, y entonces se combina con la ganancia de la antena.

El logaritmo de un cociente es igual a la diferencia de los logaritmos, por lo tanto:

$$\log_{10} A/B = \log_{10} A - \log_{10} B$$

Entonces el cociente es encontrado por la sustracción de la ganancia en dBi y la temperatura en dBK.

Este cálculo puede ser expresado en la ecuación:

$$G/T_s = G_r - 10 \log_{10} T_s \quad (\text{dBi}) \quad (3.31)$$

Donde G_r está expresada en dBi, T_s en Kelvin, y G/T_s en dBi/K. La figura de mérito de un sistema de antena está siempre expresado en dBi/K y es parte del vocabulario de los ingenieros en comunicaciones satelitales.

Como un ejemplo, supongamos que la ganancia de la antena receptora G_r es 23 dBi y el sistema de temperatura de ruido T_s es 100 K. La temperatura de ruido convertida a decibeles es 20 dBK. Este puede ser restado de la ganancia, y el resultado es $G/T_s = 3$ dBi/K. En términos absolutos, la ganancia de 23 dB es una razón de 200, la temperatura es 100 K, y la razón es 2 1/K , equivalente a 3 dBi/K.

La ecuación (3.31) significa que:

$$10 \log_{10} (G/T_s)^* = 10 \log_{10} G_r^* - 10 \log_{10} T_s \quad (\text{dBi/K}) \quad (3.32)$$

Cuando las cantidades son expresadas en dB, los logaritmos no son escritos explícitamente.

Para un satélite receptor, la ganancia de la antena es diferente para estaciones terrenas transmitiendo en diferentes lugares. El operador del satélite usualmente provee esta información con un mapa de coberturas. El mapa muestra diferentes valores de G/T_s para diferentes lugares de estaciones terrenas transmisoras.

Las estaciones terrenas receptoras típicas tienen una figura de mérito G/T_s en un rango de -18 a 41 dBi/K. La figura de mérito para un satélite receptor esta en el rango de -20 a 10 dBi/K.

3.3.8 Razón portadora a ruido térmico (C/T)

Un criterio del rendimiento de la portadora es la razón de la potencia de portadora C a la temperatura de ruido T . Para calcular esto, se comienza con la ecuación (3.29):

$$C = \text{PIRE} - L + G \quad (\text{dBW}) \quad (3.33)$$

Ésta es una ecuación decibel. Cada una de las variables esta en decibeles, y la ecuación es una serie de logaritmos. Para calcular C/T , los términos $10 \log_{10} T$ son restados de cada lado de la ecuación. El resultado puede escribirse:

$$C/T = \text{PIRE} - L + G/T_s \quad (\text{dBW}) \quad (3.34)$$

La ecuación (3.34) es el corazón del cálculo de enlace. La razón C/T es igual al PIRE en dBW, menos las pérdidas de espacio libre L en dB, mas la figura de mérito del sistema de recepción G/T_s en dBi/K. La razón está entonces en dBW/K.

La razón para escribir la ecuación de esta forma es que los términos C/T y G/T_s , expresados en notación decibel, tienen significados específicos para los ingenieros en comunicaciones. Es común tener grupos de términos en las ecuaciones que son parte del vocabulario de los ingenieros. Nótese que el PIRE es una función de la potencia de transmisión y la antena, L es función de la distancia (y la frecuencia), y G/T_s es una figura de mérito para la recepción.

Las unidades en la ecuación (3.34) pueden comprobarse, como se hizo con la ecuación (3.13). En la ecuación (3.34) el PIRE esta en dBW, L esta en dB, y G/T_s esta en dBi/K. Note primero que todos los términos están en decibeles. Arreglando las unidades, dBi/K es la misma que dB/K. Las pérdidas L están en dB (una razón pura) y puede ser dejada. Los otros dos términos pueden ser combinados: dBW + dB/K = dBW/K. El resultado para C/T es dBW/K, lo cual se comprueba, ya que C esta en dBW y T esta en dBK.

3.3.9 Razón portadora a densidad de ruido (C/N_0)

Todos los objetos que tengan una temperatura física T generan radiación electromagnética. Parte de esta radiación estará en frecuencias de microonda, y estará presente en los sistema de recepción. La potencia de ruido N de radiación esta dentro del ancho de banda B de la forma:

$$N = kTB \quad (W) \quad (3.35)$$

Donde k es la constante de Boltzmann.

$$k = 1.3806 \times 10^{-23} \text{ W seg/K} = -228 \text{ dBW/Hz K.} \quad (3.36)$$

Donde Hz K es igual a Hertz veces Kelvin, y no deberá confundirse con KHZ.

Para una temperatura de 290 K, y un ancho de banda de 50 MHz, la potencia de ruido es 0.2×10^{-12} W o 0.2 pW. Una antena que esta apuntada a una superficie en 290 K (cuerpo negro) recibirá 0.2 pW de potencia de ruido por cada 50 MHz de ancho de banda.

La densidad de ruido N_0 es la potencia de ruido en un ancho de banda de 1 Hz, y es uniforme en frecuencias de microonda. Esto es:

$$N_0 = N/B = kT \quad (\text{dBW/Hz}) \quad (3.37)$$

Y es igual a la constante de Boltzmann veces la temperatura.

Si la señal no estuviera demodulada, o el ancho de banda no se conociera, una medida del rendimiento del sistema es la razón de potencia de portadora C a la densidad de ruido $N_0 = kT$. Entonces, esta razón de portadora a densidad de ruido es:

$$C/N_0 = C/kT = C/T + 228.6 \quad (\text{dBHz}) \quad (3.38)$$

Esta razón es escrita como C/N_0 , o como C/kT , y es la razón portadora a ruido térmico tomando como referencia 1 Hz de ancho de banda.

El valor absoluto de la constante de Boltzmann es un número muy pequeño, pero en decibeles es un número grande negativo. En el cálculo de enlace k está usualmente en el denominador, por lo que el número negativo es restado. Este es el mismo que aparece sumado en la ecuación (3.38) $+228.6$, el cual es equivalente a multiplicar por $1/k$, el recíproco de la constante de Boltzmann.

3.3.10 Razón portadora a ruido (C/N)

Un filtro en el receptor normalmente bloquea bastante ruido, y solamente la frecuencia del ancho de banda es a la que se permite pasar. La razón portadora a ruido es entonces:

$$C/N = C/kTB = C/kT - 10 \log_{10} B \quad (\text{dB}) \quad (3.39)$$

Donde la razón portadora a densidad ruido C/kT o C/N_0 esta en dBHz, y el ancho de banda esta en Hz.

Muchas portadoras tienen un C/N de 10 dB o más. En la actualidad la meta es poner una señal con una buena calidad para la portadora.

3.3.11 Tasa de error de bit

El BER (Bit Error Rate), es función de la energía por bit de información y de la densidad de ruido. 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 1 bit de información, por tanto se puede escribir como:

$$BER = \frac{(C/N_0)}{R_b} \quad (\text{dBHz}) \quad (3.40)$$

Donde R_b es un régimen binario. La relación anterior depende del tipo de modulación y del esquema de corrección de errores (FEC) usado. Se ha de destacar que el FEC no elimina por completo los errores, simplemente reduce la tasa de error.

3.4 Ejemplos de cálculo de enlaces

Los cálculos de enlace se presenta de muchas formas. No hay un estándar para este cálculo. Los ejemplos presentados aquí consisten en un simple cálculo de enlace de subida (tierra-satélite) y uno para el cálculo de enlace de bajada (satélite-tierra). Unos cuantos ejemplos numéricos están dados para cada uno.

Estos cálculos contienen solamente los componentes esenciales. Cuanto más elaborado es el cálculo es más exacto su resultado, y más la información que se debe utilizar.

3.4.1 Cálculo de enlace de subida

La tabla VIII muestra un formato para de hacer el cálculo de enlace de subida. Este comienza con alguna información de referencia, la cual es usada indirectamente en el calculo del enlace. El nombre y/o localización de la estación terrena transmisora debe ser conocido, así como su longitud y latitud. Debemos conocer la frecuencia exacta; de lo contrario la mitad de la banda de frecuencia (14.25 GHz) es comúnmente usada. El diámetro de la antena transmisora deberá usarse para calcular la ganancia de la antena. El nombre del satélite o familia de satélites debe conocerse. Si el satélite tiene varios haces, el haz usado es identificado.

Tres ecuaciones claves son usadas para el cálculo del enlace de subida:

$$\text{PIRE} = 10 \log_{10} P^* + G_t \quad (\text{dBW}) \quad (3.40)$$

$$\text{C/T} = \text{PIRE} - L + G_r/T \quad (\text{dBW/K}) \quad (3.41)$$

$$\text{C/kt} = \text{C/T} + 228.6 \quad (\text{dBHz}) \quad (3.42)$$

En la primera ecuación, la potencia isotropica radiada equivalente PIRE es calculada de la potencia de transmisión P en W, y la ganancia de la antena de transmisión G_t en dB. En la segunda ecuación, la razón portadora a ruido es igual al PIRE en dBW, menos las pérdidas en dB, mas la figura de mérito del equipo receptor en dBi/K. Finalmente, la razón portadora a densidad de ruido es la razón portadora a ruido térmico mas la constante de Boltzmann.

Las ecuaciones de arriba son usadas en el cálculo de enlace mostrado en la tabla VIII.

El PIRE (línea 3) es calculado con la ecuación (3.40), el cual es el mismo como la ecuación (3.21), pero sumándole la potencia de antena y la ganancia de la antena transmisora (líneas 1 y 2). El C/T (línea 6) es calculado con la ecuación (3.41) o la ecuación (3.34), con suma y resta. C/kt (línea 8) es calculado con la ecuación (3.42) o con la ecuación (3.38), sumandole 228.6.

3.4.2 Cálculo de enlace de bajada

En las comunicaciones satelitales se incluye un enlace de subida (estación terrena a satélite) y un enlace de bajada (satélite a estación terrena).

Nuevamente, las tres ecuaciones claves para ser usadas en el calculo de enlace de bajada son:

$$C/T = \text{PIRE} - L + G_r/T \quad (\text{dBW/K}) \quad (3.43)$$

$$C/kT = C/T + 228.6 \quad (\text{dBHz}) \quad (3.44)$$

$$C/N = C/kT - 10 \log_{10} B \quad (\text{dB}) \quad (3.45)$$

Las ecuaciones más importantes para los enlaces son las mismas; las ecuaciones (3.43) y (3.44) son las mismas que las ecuaciones (3.41) y (3.42) para el enlace de subida. La diferencia de estas dos son los requerimientos, y puntos diferentes de vista. Para el enlace de subida el operador de la estación terrena usualmente calcula el PIRE de la potencia transmitida y la ganancia de la antena. Para el enlace de bajada el PIRE es una función del enlace de subida. La relación entre la potencia recibida por el satélite determinada por la amplificación en el receptor, y la ganancia del transpondedor.

Muchos satélites no demodulan las señales del enlace de subida, y C/T_u o C/kT_u indican el rendimiento del enlace de subida. En el enlace de bajada las señales son demoduladas, y C/N deberá calcularse.

Un formato para el cálculo de enlace es mostrado en la tabla IX. El encabezado es similar al del enlace de subida, pero algunos puntos se refieren a las estación terrena de recepción. Las primeras tres líneas son combinadas para obtener la razón portadora a ruido térmico C/T , con las pérdidas restadas como antes. Cuando las otras razones C/kT y C/N con calculadas, esos números se refieren solamente al rendimiento del enlace de bajada, y se asume que el enlace de subida y la transmisión satelital están libres de ruido. Para obtener el rendimiento total, las razones para el enlace de subida y de bajada necesitan ser combinados, por lo que las ecuaciones generales para un cálculo aproximado y sencillo son:

Enlace de subida: $C/kT = C/T + 228.6$

Enlace de bajada: $C/N = C/kT + 10 \log_{10} B$

TABLA V: Parámetros usuales en unidades decibel

SIMBOLO	UNIDADES	SECCION	SIGNIFICADO
C_{tra}	dBW	3.3.5	Potencia de portadora recibida
C/T	dBW/K	3.3.8	Potencia de portadora a temperatura de ruido
PIRE	dBW	3.3.3	Potencia isotropica radiada equivalente
G	dB	3.3.2	Ganancia de la antena
G/T	dB/K	3.3.7	Ganancia de la antena a temperatura de ruido
L	dB	3.3.5	Pérdidas del espacio libre

TABLA VI: Ejemplos de uso de decibeles

	ABSOLUTO	DECIBELES	EXPONENTE
Potencia transmitida	1,000 W	30 dBW	10^3 W
Pérdidas por guía de onda	0.5	-3 dB	$10^{-0.3}$
Potencia de entrada de la antena	500 W	27 dBW	$10^{2.7}$ W
Ganancia de la antena Transmisora	10,000	40 dBi	10^4
PIRE	5,000,000 W	67 dBW	$10^{6.7}$ W
Pérdidas del espacio libre	10^{-21}	-200 dB	10^{-20}
Ganancia de la antena receptora	100	20 dBi	10^2
Potencia recibida	0.000000000005 W	-113 dBW	$10^{-11.3}$ W

TABLA VII: Pérdidas del espacio libre
(Valores aproximados para órbitas geostacionarias)

ENLACE DE SUBIDA			ENLACE DE BAJADA	
f_u (GHz)	L_u (dB)		f_d (GHz)	L_d (dB)
1.6	188		1.5	187
6	200		4	196
14	207		11	205
18	209		12	206
30	214		20	210

TABLA VIII: Forma para el cálculo de enlace de subida

Ubicación de la estación terrena transmisora: _____
 Frecuencia del enlace de subida f_u : _____ GHz
 Diámetro de la antena de la estación terrena transmisora: _____ m
 Satélite: _____ Haz de enlace de subida: _____

PARÁMETRO	SIGNO	VALOR	UNIDADES
Estación terrena			
Potencia en la antena para $P^* =$ _____ W/portadora		_____	dBW
Ganancia de la antena transmisora G	+	_____	dBi
PIRE de la estación terrena		_____	dBW
Tierra a satélite			
Pérdidas en el espacio libre L para $S_u =$ _____ km	-	_____	dB
Satélite			
Satélite G/T_{su}	+	_____	dB/K
Portadora/Ruido térmico $(C/T)_u$		_____	dBW/K
$1/k$ ($k =$ constante de Boltzmann)	+	228.6	(dBW/Hz K) ⁻¹
$(C/kT)_u$		_____	dBHz

TABLA IX: Forma para el cálculo de enlace de bajada

Ubicación de la estación terrena receptora: _____ Frecuencia del enlace de bajada f_d : _____ GHz Diámetro de la antena de la estación terrena receptora: _____ m Satélite: _____ Haz del enlace de bajada: _____			
PARÁMETRO	SIGNO	VALOR	UNIDADES
<u>Satélite</u>			
PIRE del satélite/portadora		_____	dBW
<u>Satélite a tierra</u>			
Pérdidas en el espacio libre L para $S_d =$ _____ km	-	_____	dB
<u>Estación terrena</u>			
Estación terrena $G/T_{s,d}$	+	_____	dB/K
Portadora/Ruido térmico $(C/T)_d$		_____	dBW/K
$1/k$ ($k =$ constante de Boltzmann)	+	228.6	$(\text{dBW/Hz K})^{-1}$
$(C/kT)_d$		_____	dBHz
Ancho de banda ($B^* =$ _____ Hz)	-	_____	dBHz
Razón portadora a ruido $(C/N)_d$		_____	dB

4 PROPUESTA DE RED VSAT TDMA

Debido a la firma de los Acuerdos de Paz, Guatemala necesita establecer una red de comunicación en todo territorio nacional para que de alguna manera se cumplan los compromisos hechos en este acuerdo. Esto se puede lograr mediante el alquiler que actualmente tiene la empresa TELGUA, S.A. de capacidad en el satélite INTELSAT 706 a 307° E. Se prevé que dicha red funcionará con 100 terminales VSAT remotas, pudiendo brindar acceso telefónico para comunicaciones rurales y enlaces de voz y datos para empresas. Asimismo, deberá contarse con margen de crecimiento suficiente para poder aumentar el número de terminales VSAT remotas en los próximos años.

La red VSAT debe poder cursar las aplicaciones indicadas en la tabla X.

TABLA X: Síntesis de las aplicaciones requeridas

USUARIO	APLICACIONES
Sector financiero, banca, industria, Aseguradoras, operaciones de puntos de venta, verificaciones de cuentas, Tarjetas de crédito, petroleras, empresas agrícolas, etc.	Transacciones con ficheros y transferencias por lotes de las oficinas locales a la sede para su procesamiento Central; cajeros automáticos y todo tipo de terminales de pago; administración diaria de supermercados, Negocios minoristas, etc. Correo electrónico, conexiones entre LAN, Videoconferencias, comunicaciones telefónicas empresariales, etc.
Telefonía rural	Comunicaciones telefónicas, 3 a 4 canales por sitio

No hay ninguna recomendación de UIT-T que trate específicamente las cuestiones relativas a la calidad y disponibilidad de enlaces para redes VSAT, por lo cual cada usuario está en libertad de definir sus propios objetivos al respecto.

Sin embargo, visto el tipo de necesidades de las redes de comunicaciones de datos, INTELSAT elaboró un conjunto de recomendaciones para su servicio empresarial (IBS).

Esas recomendaciones figuran en el módulo IESS-309 (International Earth Station Standard-309). La tabla XI, indica las recomendaciones del IESS-309 correspondientes a las necesidades de desempeño de los enlaces satelitales cuando cursan datos.

TABLA XI: Objetivos de calidad y disponibilidad según el módulo IESS

-309

CONDICIONES CLIMÁTICAS	BER	DISPONIBILIDAD
Cielo despejado		
- situación típica	$< 10^{-8}$	$> 95.90\%$
- situación específica	10^{-8}	95.90%
Degradadas	10^{-6}	99.36%
Degradadas	10^{-3}	99.96%

De la información suministrada en la tabla XI se pueden sacar dos conclusiones:

- objetivo de calidad: el enlace debe tener una BER de menos de 10^{-6} durante por lo menos 99.36% del tiempo;
- objetivo de disponibilidad: el enlace debe tener una BER igual a 10^{-3} durante por lo menos 99.96% del tiempo.

Téngase presente que estos valores de desempeño sólo dan cuenta de los efectos relativos a la propagación, por lo que no incluyen los de los equipos de la estación terrena.

Para la red de Guatemala hay varias opciones, entre las que se destacan las siguientes:

- TDMA de baja velocidad;
- TDM/TDMA, ALOHA con intervalos, TDMA con asignación por demanda, TDMA con asignación por reserva, etc.;
- Acceso múltiple con asignación por demanda (DAMA);
- Redes híbridas TDM/TDMA y DAMA.

A continuación se tratará lo visto en el capítulo 1 pero orientado a la aplicación, y su comparación con técnicas similares.

4.1 TDMA de baja velocidad

Las mejoras tecnológicas han llevado a los fabricantes a desarrollar sistemas TDMA de baja velocidad (LS-TDMA), merced a los cuales los usuarios que no pueden instalar una estación central grande pueden hacer funcionar una red sin antena central, con los consiguientes ahorros de capital. Esta modalidad de funcionamiento se requiere cuando el tráfico a cursar no es suficientemente voluminoso como para justificar la inversión en grandes estaciones centrales.

Con los sistema LS-TDMA, la red funciona sin estación central ni control centralizado y, de hecho, cualquier nodo de la misma puede desempeñar las funciones de estación de gestión y control de la red (NMC) y estación de referencia, a menor escala. Además, como todas las estaciones transmiten y reciben la misma frecuencia de portadora TDMA, el sistema permite configurar las redes en forma de malla integral.

Para imponer disciplina en la red se requiere un pequeño centro de gestión y control (NMCC) encargado de asignar la planificación de ráfagas a cada terminal según la velocidad que precisa el usuario final, para monitorear las mediciones de desempeño y tráfico. Esta versión más pequeña de NMCC se puede instalar en cualquier nodo de la red VSAT sin agregar nuevos equipos de RF (Radio Frecuencia) o IF (Frecuencia Intermedia), porque utiliza la misma ráfaga TDMA para transmitir su información a la red en modalidad de radiodifusión.

Hay dos tipos de redes LS-TDMA: las de TDMA fijo y las de acceso múltiple por distribución de frecuencia y tiempo, o FATMA.

4.1.1 TDMA fijo

Con este tipo de sistema TDMA se evitan los problemas de "colisión" propios de las redes de acceso por contención (es decir, las tipo ALOHA o cualquier clase de red con acceso a petición) porque el sistema es completamente fijo en el sentido de que a cada estación VSAT se le asigna su propio intervalo de tiempo para su carga de tráfico específica. Cuando se necesita un canal nuevo en la red, el administrador de la misma debe asignar los recursos a los usuarios, con lo cual, de hecho, se reconfigura la red. Si bien el sistema parece rígido, es lo suficientemente flexible para reconfigurarse y adaptarse a las necesidades de tráfico. El TDMA fijo puede atender a distintos usuarios que tienen diferentes necesidades (o velocidades de datos) y perfiles de tráfico.

Desde el punto de vista del receptor, cada terminal con una dirección específica capta (o sintoniza) la misma frecuencia de recepción, lo que le permite filtrar los datos que llegan en la distintas ráfagas con destino a ese nodo (VSAT) en particular. La red puede crecer en dos formas, ya sea aumentando la velocidad de datos de la portadora TDMA, o bien agregando otra portadora de ese tipo para el tráfico nuevo, estableciéndose así una subred. En la figura 10 (ver al final del capítulo) se esquematiza una red TDMA y se presenta un diagrama de bloques de dos redes de ese tipo.

Otro beneficio del sistema TDMA es el de la sencillez de la terminal VSAT, ya que en cada estación se necesitan una portadora receptora y transmisora, un módem para modalidad de ráfagas y las unidades de interfaz adaptadas.

Además, este sistema permite usar los transceptores de RF en estado de cuasisaturación, con lo cual se evita la reducción de potencia requerida para la modalidad de portadoras múltiples y, por lo tanto, se puede disminuir la potencia nominal de RF en el extremo de la estación VSAT.

Como el intervalo de tiempo del TDMA está siempre disponible, el procesamiento de la bandabase admite aplicaciones en tiempo real, como las de voz y las videoconferencias, y casi todos los tipo de aplicaciones de datos con muy poco tiempo de respuesta.

4.1.2 Redes FATMA

En fecha reciente se introdujo otro tipo de red TDMA basado en un concepto nuevo, el del acceso múltiple por distribución de frecuencia y tiempo, o FATMA. En estas redes el tráfico se transporta según el principio de la asignación por demanda, lo que hace que el sistema sea muy eficiente. Funcionan con una sola portadora TDMA, o varias adyacentes, y cuando una terminal desea transmitir datos o telefonía digital, analiza la capacidad disponible en la red, antes de asignarla para un canal de tráfico. De carecer de capacidad en una portadora, se hace un salto de frecuencia hasta la siguiente portadora TDMA disponible (si la hay).

Por basarse en la asignación por demanda, este sistema está expuesto a colisiones de ráfagas. Sin embargo, para evitarlas, cada terminal FATMA almacena en sus registros una versión en tiempo real de la base de datos de asignación del tráfico. Así, todas las terminales de una red saben exactamente qué intervalos de tiempo o porciones de la trama FATMA están disponibles para cursar la demanda de tráfico.

En general, para mejorar el desempeño de las redes, sean éstas LS-TDMA o FATMA, en cada canal telefónico se utilizan técnicas digitales de compresión de la voz a fin de reducir a menos de 8 Kbps la velocidad de datos correspondiente a un canal de voz. El sistema puede transmitir señales de facsímil y de datos en banda telefónica a cualquiera de las velocidades a que se utilizan los dispositivos de desmodulación y remodulación de facsímil. Las tarjetas de interfaz para datos únicamente pueden manejar distintos protocolos y velocidades de datos variables. Antes de la transmisión, la velocidad de datos se combina con la señal vocal y la información en paquetes de datos en banda telefónica.

Según se indica en la figura 11 (ver al final del capítulo), este tipo de red puede cursar una amplia gama de servicios, como telefonía, facsímil, correo electrónico, datos, interconexiones entre LAN y videoconferencias.

Se podría optar por el LS-TDMA o el FATMA, con las siguientes ventajas:

- **Sencillez:** cada estación tiene un módem y puede ofrecer todo tipo de servicios (telefonía, datos, datos en banda telefónica, etc.). La portadora brinda una conectividad intrínseca en malla, con asignaciones fijas o por demanda y un método de reconfiguración sencillo;
- **Estructura modular:** la red puede crecer canal por canal, aumentando la velocidad de la portadora o agregando más portadoras TDMA para crear subredes;
- **Flexibilidad:** la red puede funcionar en estrella, malla o modalidades híbridas;
- **Transparencia:** la red puede cursar distintos canales telefónicos y una variedad de señales de datos (de baja a alta velocidad) a petición;
- **Funcionamiento sin estación central:** la red no requiere controladores de red, que son costosos.

Lamentablemente, este tipo de redes tiene un inconveniente serio, el cual es la gran potencia de RF requerida en la terminal VSAT por el tamaño de la portadora transmitida, y que sólo se puede superar aumentando el tamaño de la antena o instalando un SSPA más grande. Si bien ambas soluciones suponen un gasto de capital adicional en la estación VSAT, se deben considerar como alternativa para redes pequeñas.

4.2 Redes TDM/TDMA

La mayoría de las redes VSAT interactivas para datos utilizan una combinación de técnicas TDM y TDMA y se configuran en estrella.

La ruta saliente se materializa con una portadora continua que transmite todo el tráfico hacia las VSAT utilizando multiplexaje por distribución en el tiempo (TDM). Esta portadora cursa todo el tráfico de la estación central a la VSAT remota, a velocidades típicas de entre 64 y 512 Kbps, mientras que las portadoras entrantes llevan el tráfico correspondiente de la VSAT a la estación central. En general, estas últimas portadoras tienen una velocidad más baja (19.2 a 64 Kbps) que las salientes y el acceso a las mismas es compartido en el tiempo por varias estaciones VSAT remotas en modalidad TDMA.

Su cantidad depende directamente del número de terminales VSAT remotas.

La eficiencia del método de acceso seleccionado, la velocidad de la propia portadora entrante y el caudal deseado. En la figura 12 (ver al final del capítulo) aparece un diagrama de bloques típico de este tipo de redes.

La modalidad de funcionamiento TDM/TDMA se puede lograr porque todos los mensajes, tanto entrantes como salientes, se agrupan en paquetes, lo que permite que cada estación VSAT capte todo el tráfico cursado en el enlace saliente y decodifique únicamente la información de control de la red y los paquetes de tráfico enviados a uno de sus puntos de salida o interfaces terrestres. Cuando una VSAT debe enviar datos a un punto cualquiera de la red, el paquete de información correspondiente se transmite por la portadora entrante, que funciona en modalidad de acceso aleatorio.

El tráfico no agrupado en paquetes (como el de telefonía digital) se puede transmitir si previamente la señal vocal (o cualquier otro tipo de información) se agrupa en paquetes utilizando un algoritmo adecuado y empaquetadores/desempaquetadores de datos. Dado que el tráfico de datos interactivos se transmiten en ráfagas, la combinación de sistemas TDM/TDMA permite atender cientos de estaciones VSAT interactivas con la misma frecuencia de portadora, con lo cual se reduce al mínimo la cantidad de capacidad de segmento espacial requerida.

Las redes VSAT deben constituir un medio de transmisión económico y fiable. Sin embargo, las características de los enlaces satelitales hacen que, con suma frecuencia, el servicio se vea particularmente afectado por limitaciones de potencia, lo que obliga a recurrir a un sistema de modulación muy eficiente en función de la potencia para lograr los objetivos de calidad de la transmisión. Además, por lo común la modulación digital se usa junto con técnicas de corrección de errores sin canal de retorno (FEC) para mejorar aún más la calidad, fiabilidad y disponibilidad general de los enlaces.

En este tipo de redes se recurre comúnmente a la modulación BPSK unida a una FEC de relación $\frac{1}{2}$, lo cual, pese a no constituir un método eficiente en función del ancho de banda, pone al sistema a cubierto de ruidos e interferencias. Así se superan las limitaciones de potencia impuestas por el funcionamiento de las VSAT y se puede establecer el enlace en forma económica.

4.2.1 Modalidades de acceso a las portadoras entrantes

Para las redes de acceso múltiple a petición se requieren protocolos de acceso, concebidos para encarar el problema de cómo compartir un canal de radiodifusión común (en este caso, en la portadora entrante).

La modalidad más común es la de las técnicas aleatorias (a veces denominadas de contención). Las mismas son aleatorias en el sentido de que ninguna estación tiene una hora predecible o establecida para transmitir, y son de contención en cuanto a que no se ejerce ningún control central para fijar turnos.

Las estaciones generan paquetes de transmisión en horas aleatorias y pugnan con sus homólogas por el tiempo de uso de la red.

En esta sección se analizarán cuatro protocolos de contención utilizados en las portadoras entrantes: ALOHA, ALOHA con intervalos, ALOHA con rechazo selectivo, y TDMA con asignación por demanda y acceso para reservas ALOHA con intervalos.

Es muy importante enfatizar sin embargo que la portadora saliente operara en forma continua utilizando multiplexaje por división en tiempo (portadora entrante es la que enlaza al VSAT con la estación central y portadora saliente la que cursa el tráfico estación central VSAT).

a) ALOHA

La del ALOHA es la técnica de contención más antigua, según la cual cuando una estación tiene un paquete para enviar, lo transmite, debiendo recibir un acuse de recibo en un plazo igual al doble del tiempo de ida y vuelta del mensaje; a falta de dicho acuse de recibo, vuelve a enviar el paquete. Al cabo de varios envíos fallidos, la estación deja de intentar la transmisión. Cada terminal VSAT capta el tráfico saliente y determina si los paquetes entrantes le pertenecen y si están correctos examinando la dirección del encabezamiento. Si el paquete correspondiente es válido, la estación acusa recibo del mismo inmediatamente por el canal entrante.

Si es ruido degrada la información contenida en el paquete, o si otra estación transmite un paquete aproximadamente en el mismo momento (causando una colisión), el receptor de la estación central simplemente los ignora.

La técnica ALOHA opera aceptablemente siempre que los canales compartidos de acceso aleatorio funcionen con caudales inferiores al 18% (véase figura 13 al final del capítulo), el sistema ALOHA opera con una característica de respuesta con poco retardo. El precio que se paga por esta sencillez operativa es el del bajo caudal de las portadoras entrantes. Si el tráfico ofrecido aumenta por encima el 18%, el caudal real disminuye y el retardo del tráfico aumenta, porque tanto los paquetes que sufren una colisión como los perdidos se retransmiten en el mismo canal que se emplea para los paquetes nuevos, con el consiguiente aumento de congestión.

b) ALOHA con intervalos (S-ALOHA)

El sistema ALOHA con intervalos aumenta la eficiencia de caudal para los mensajes de longitud fija, porque obliga a sincronizar todas las transmisiones para ocupar "intervalos de tiempo" en el canal.

Generado un mensaje, una estación debe demorar su transmisión hasta el comienzo del siguiente intervalo de tiempo (véase la figura 13b), con lo que se reduce la posibilidad de colisiones con respecto al sistema ALOHA puro y se duplica el caudal máximo, llevándolo al 36% aproximadamente (ver figura 13). Esta mejora se ve contrarrestada en cierta medida por el aumento de complejidad en la implantación de un sistema síncrono con intervalos.

c) ALOHA con rechazo selectivo (SREJ)

El ALOHA-SREJ es una técnica de acceso aleatorio sin intervalos en la cual se logra, sin sincronización de temporización, un caudal máximo comparable al del método ALOHA con intervalos.

Con el sistema ALOHA-SREJ, un mensaje se formatea en subpaquetes contiguos de longitud fija detectables independientemente, cada uno con su propio encabezamiento y preámbulo de adquisición. El protocolo aprovecha el hecho de que la mayoría de las colisiones en un sistema asíncrono se traducen en traslapes parciales, tales que sólo se retransmite el (los) subpaquete (s) con problemas.

El caudal que se logra con este sistema es de alrededor del 30%, valor muy indicado para mensajes de longitud variable (ver figura 13).

d) TDMA con asignación por demanda y reservas ALOHA con intervalos (DA-TDMA).

El sistema DA-TDMA utiliza dos niveles de acceso. Cuando el paquete de información a transmitir por un VSAT es pequeño, la red utiliza para la portadora entrante el método S-ALOHA. Si el mensaje es de longitud mayor que lo que un intervalo ALOHA se puede manejar, el VSAT envía un paquete breve conteniendo una porción del tráfico a transmitir y un corto mensaje informando a la estación central el tamaño total de la información a transmitir y la solicitud de reserva del canal de satélite. Recibido este paquete sin inconvenientes, es la estación central, el controlador central asigna los intervalos al VSAT solicitante.

Durante ese periodo, todas las demás VSAT de la red son informadas que dichos intervalos han sido reservados, por lo que ninguna transmitiría durante ese intervalo y utilizaran otras portadoras entrantes evitando así cualquier colisión.

Cabe reiterar que si la longitud total de la información es breve, la red funciona en modalidad S-ALOHA.

Como permite lograr caudales muy elevados con poco retardo, incluso con grandes cargas de tráfico, el DA-TDMA es uno de los métodos de acceso más atractivos para los sistemas VSAT.

Con él, la red puede cursar una combinación de señales telefónicas y de datos en la misma plataforma, con el beneficio que entraña el menor tamaño de la terminal VSAT.

4.2.2 Comparación del desempeño

El caudal máximo y el bajo retardo con características importantes que hay que tener en cuenta a la hora de seleccionar una técnica de acceso para una red VSAT para datos interactivos. Sin embargo, la técnica más idónea se debe seleccionar en base a las características del tráfico.

En la tabla XII se presenta una síntesis del desempeño de los cuatro protocolos analizados.

TABLA XII: Comparación del desempeño

TECNICA	RETARDO TÍPICO	ESTABILIDAD	APLICACIÓN	COMENTARIOS
ALOHA	< 0.5 seg.	Poca	Mensajes de longitud variable	No se requiere temporización
S-ALOHA	< 0.5 seg.	Moderada	Tráfico de mensajes de longitud fija	
SREJ-ALOHA	< 0.5 seg.	Moderada	Mensajes de longitud variable	Capacidad competitiva frente al S-ALOHA
DA-TDMA	< 2 seg.	Buena	Mensajes de longitud variable	En general es atractivo para mensajes largo (datos por lotes, telefonía)

En general, las redes VSAT reemplazan redes terrestres de datos existentes y conectan computadoras centrales con terminales de datos. Como las redes terrestres de datos pueden usar distintos protocolos, la red VSAT debe poder funcionar con los mismos sin necesidad de modificar la configuración de los equipos existentes.

Por lo general, el procesamiento del protocolo terrestre se realiza por software en las tarjetas de interfaz terrestre del procesador de bandabase de las terminales VSAT y el procesador de la sección de entrada (FEP) de la estación central. Por utilizarse distintos protocolos con diferentes programas de computadora, el sistema debe poder descargar por teleproceso, desde la estación central, versiones nuevas o actualizaciones de dichos software, a través del canal de satélite.

Las redes VSAT se pueden emplear para comunicaciones telefónicas si en un sector de la portadora entrante se coloca un codificador digital capaz de comprimir en forma digital la señal vocal. Dado el bajo retardo requerido y la naturaleza de los paquetes de señales vocales, la red hace las asignaciones por reserva y utiliza la capacidad restante para cursar el tráfico de datos.

Por transmitirse en ráfagas, tanto las señales de datos como los algoritmos de compresión se emplea para señales telefónicas requieren mucho menos capacidad de segmento espacial.

4.2.4 Beneficios del sistema TDM/TDMA

A continuación se presentan los beneficios del sistema TDM/TDMA:

- a) Terminal VSAT pequeña: el funcionamiento con una sola portadora les permite a los fabricantes reducir el tamaño de la antena y la cantidad de potencia de RF requerida, haciendo funcionar los amplificadores de potencia en un estado cercano a la saturación.
- b) Tiempo de respuesta elevado para datos: Los protocolos permiten lograr un caudal de datos elevado para cualquier carga de tráfico.
- c) Manejo de señales telefónicas: las mejoras en cuanto compresión de la señal vocal y protocolos de empaquetado permiten cursar telefonía en estas redes en forma directa.
- d) Sencillez: una sola terminal puede cursar todos los servicios con un simple cambio de tarjetas de interfaz.
- e) Posibilidad de mejoras: se puede utilizar la misma plataforma para la implantación futura de servicios, como protocolo TCP/IP, correo electrónico, retransmisión de tramas y radio difusión de datos.

- f) Todos los servicios se suministran en la misma plataforma: se podría cursar todos los servicios en la misma plataforma, reduciendo así el gasto en existencias de repuestos.
- g) Reutilización: una terminal telefónica se puede reutilizar como terminal para datos y viceversa, con un simple cambio de interfaz. Este ultimo factor es muy importante considerando que la red será utilizada para telefonía rural solo temporalmente y que el uso mas definitivo será datos interactivos.

4.3 Redes de acceso múltiple con asignación por demanda (DAMA)

El DAMA es una técnica de transmisión que permite una conectividad total en malla, en la que cada canal utiliza una portadora de RF en modalidad SCPC. La conexión telefónica entre terminales se establece a petición, con un controlador DAMA centralizado que envía sus órdenes mediante canales de control suplementarios. En general, los circuitos telefónicos utilizan la compresión para reducir el ancho de banda satelital, en la señal de audio comprimida se cursa a velocidades de entre 4.8 y 16 Kbps por canal telefónico.

El DAMA puede funcionar en cualquier topología porque los canales de tráfico del satélite se asignan desde el controlador de la red y, una vez establecida la conexión, las terminales dialogan entre sí a través de las portadoras asignadas, sin intervención del controlador.

Concluida la llamada y liberada la línea, el controlador informado de ello, puede pasar a asignar los canales a otra comunicación. El sistema DAMA funciona en modalidad de portadora monocanal (SCPC) con un módem por circuito telefónico, compartiendo el sistema de RF y la(s) antena(s).

Para mejorar el desempeño general reduciendo la capacidad de segmento espacial requerida para la red, el DAMA utiliza la activación por la voz, que hace funcionar la portadora cuando se cursa efectivamente una señal vocal.

En grupos de 100 canales o más, la activación por la voz permite reducir hasta 2.2 dB la potencia de satélite utilizada.

De requerirse, el DAMA puede ofrecer en forma permanente canales transparentes de 64 Kbps. A continuación se indican algunas ventajas de este sistema:

- Asignación de canales a petición;
- Técnica mejorada para redes telefónicas;
- Un canal por portadora, con que se evitan problemas de contención.

Sin embargo, el DAMA también tiene los siguientes inconvenientes:

- Amplificadores de potencia de RF más grandes: en la estación VSAT, para evitar la intermodulación producida por el funcionamiento en modalidad de portadoras múltiples;

- Empleo de muchos equipos: un modulador por canal; este problema se vuelve más complicado en la estación central;
- Gestión y control de la red: para asignar las llamadas se requiere una gestión y un control de la red especializados en la estación central;
- Comunicaciones de datos: el DAMA es un sistema optimizado para comunicaciones telefónicas, no de datos, por lo cual no puede lograr el tiempo de respuesta rápido requerido para éstos, y en ciertos casos incluso no puede cursar datos en absoluto. Además, la eficiencia del sistema para este tipo de aplicaciones se ve reducida por el hecho de que los datos se transmiten por ráfagas y a velocidades muchos mas altas que lo una portadora DAMA puede cursar.

4.4 Redes híbridas

El problema del suministro de comunicaciones telefónicas y de datos también puede encararse instalando una red híbrida compuesta por una sección TDM/TDMA y una sección DAMA que utilizan la misma estación central y comparten, de alguna manera, la capacidad de satélite. El usuario de servicios de datos se conecta a la primera de esas secciones y el de telefonía, a la segunda.

Si alguien necesita ambos tipos de servicios, la VSAT comparte las unidades de RF con los equipos TDM/TDMA y VSAT de interior.

Este método supone ciertos beneficios:

- Dos redes separadas: los servicios de voz y datos utilizan redes distintas;
- Eficiencia: ambos tipos de servicios cursan su tráfico en la forma más eficiente, es decir, el sistema DAMA para telefonía y el TDM/TDMA para datos;
- Segmento espacial eficiente: gracias a la división del tráfico.

Sin embargo, el mismo también tiene los siguientes inconvenientes:

- La terminal VSAT es de uso exclusivo: El usuario de servicios de datos no puede convertirse en usuario de telefonía, y viceversa;
- Si un cliente desea ambos tipos de servicios: la terminal VSAT debe ser suficientemente grande para poder cursar las dos clases de tráfico, y además tiene que tener el doble de equipos de interior (uno para datos y otro para telefonía). Los amplificadores de RF deben ser grandes para evitar los productos de intermodulación;
- La cantidad de equipos de la estación central: se duplica para poder atender las dos redes;
- El método no es eficaz en función de los costos: ya que sólo puede serlo para sistemas muy grandes de más de 500 estaciones VSAT.

4.5 Centro de gestión y control de la red (NMCC)

La gestión de una red VSAT es sumamente importante y puede ser el factor que determina si el sistema tiene éxito o fracasa. De las opciones ofrecidas, en esta sección se describen las funciones mínimas requeridas de un NMCC para dirigir una red VSAT con buenos resultados.

4.5.1 Funciones administrativas

Las funciones administrativas son las siguientes:

- a) Gestión de la configuración, para que el operador pueda hacer lo siguiente:
 - Añadir/eliminar: terminales VSAT, interfaces de la red o canales por satélite;
 - Crear fondos de capacidad para subredes;
 - Habilitar/anular componentes de la red;
 - Modificar equipos o programas, modernizándolos;
 - Añadir gradualmente funciones y capacidades a la red;

- b) La gestión contable, para contabilizar los costos de operación de la red y asignar los costos de los usuarios.

Los parámetros tales como la cuenta de paquetes, la duración, tiempo, etc., son pertinentes para esta función.

- c) La gestión del inventario, para mantener y controlar el inventario de equipo de la red, incluidas las opciones, la redundancia, etc.
- d) La gestión de la seguridad, para impedir el acceso no autorizado a los recursos de la red. Debe permitir la anulación de componentes que pudieran haber sido comprometidos.

4.5.2 Funciones operacionales

Las funciones operacionales pueden dividirse en las siguientes categorías:

- a) Recopilación y archivos de datos, y producción de informes. Permite a los planificadores analizar las necesidades a largo plazo, tales como el crecimiento previsto y las reconfiguraciones.
- b) Interfaz del operador, para que éste tenga fácil acceso a diversas funciones del NMCC. Cuanto mejor diseñada sea la interfaz, más eficiente será el manejo.
- c) Monitoreo y control, para permitir la supervisión en tiempo real de la situación del sistema. Debe prestarse especial atención a las alarmas y la vigilancia de eventos, el registro y el filtrado, incluidas las VSAT.

FIGURA 10: Red VSAT que utiliza técnicas TDMA

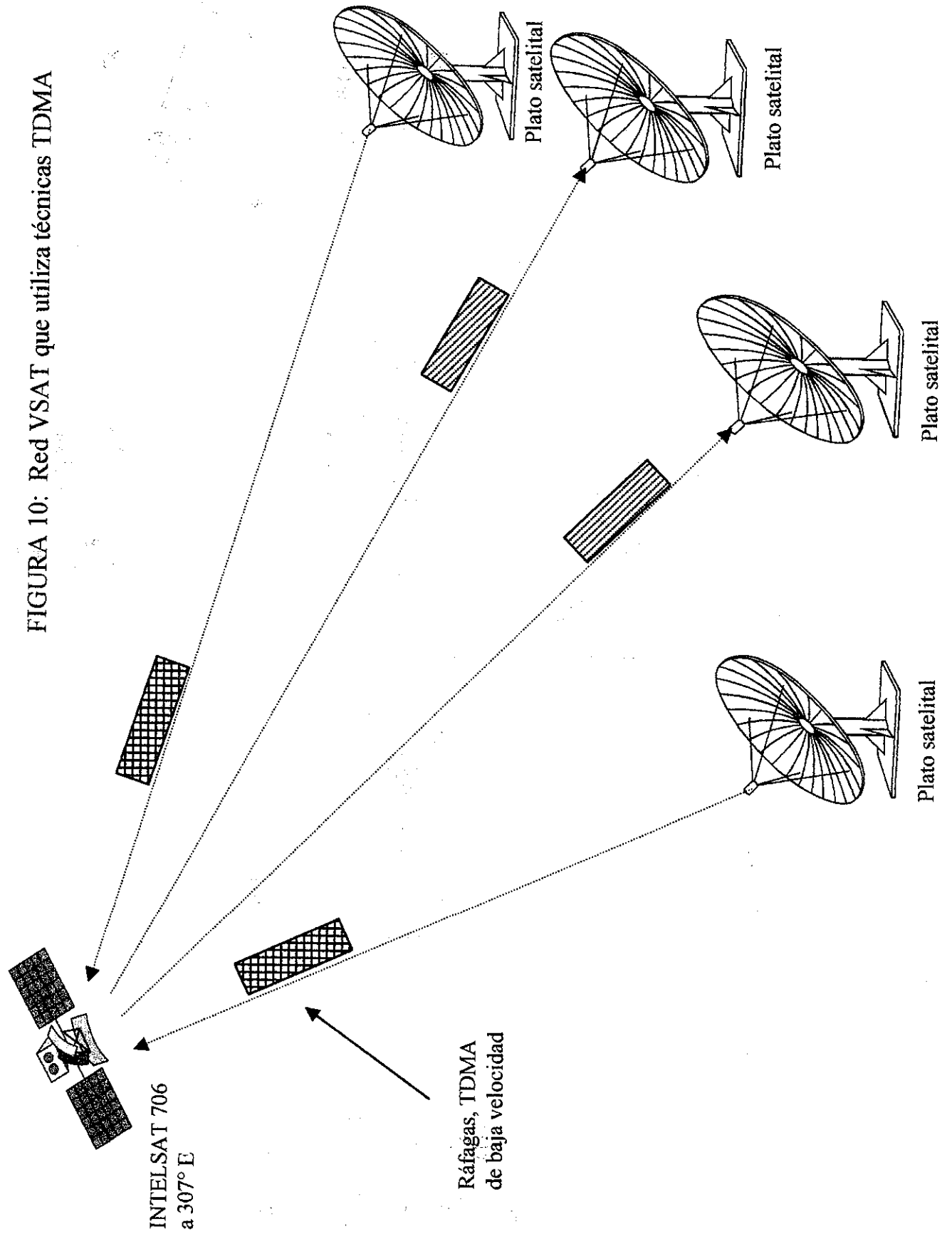
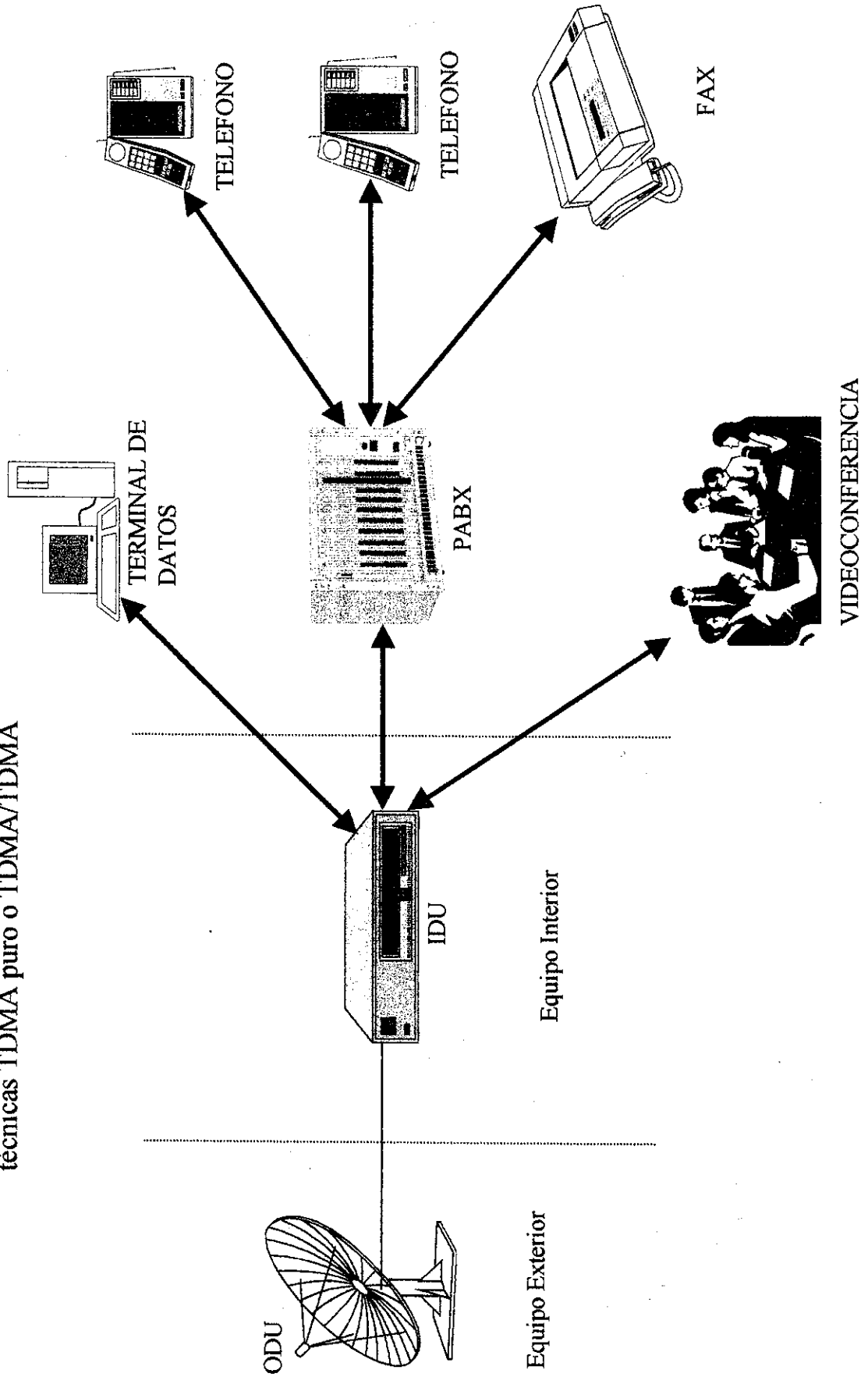
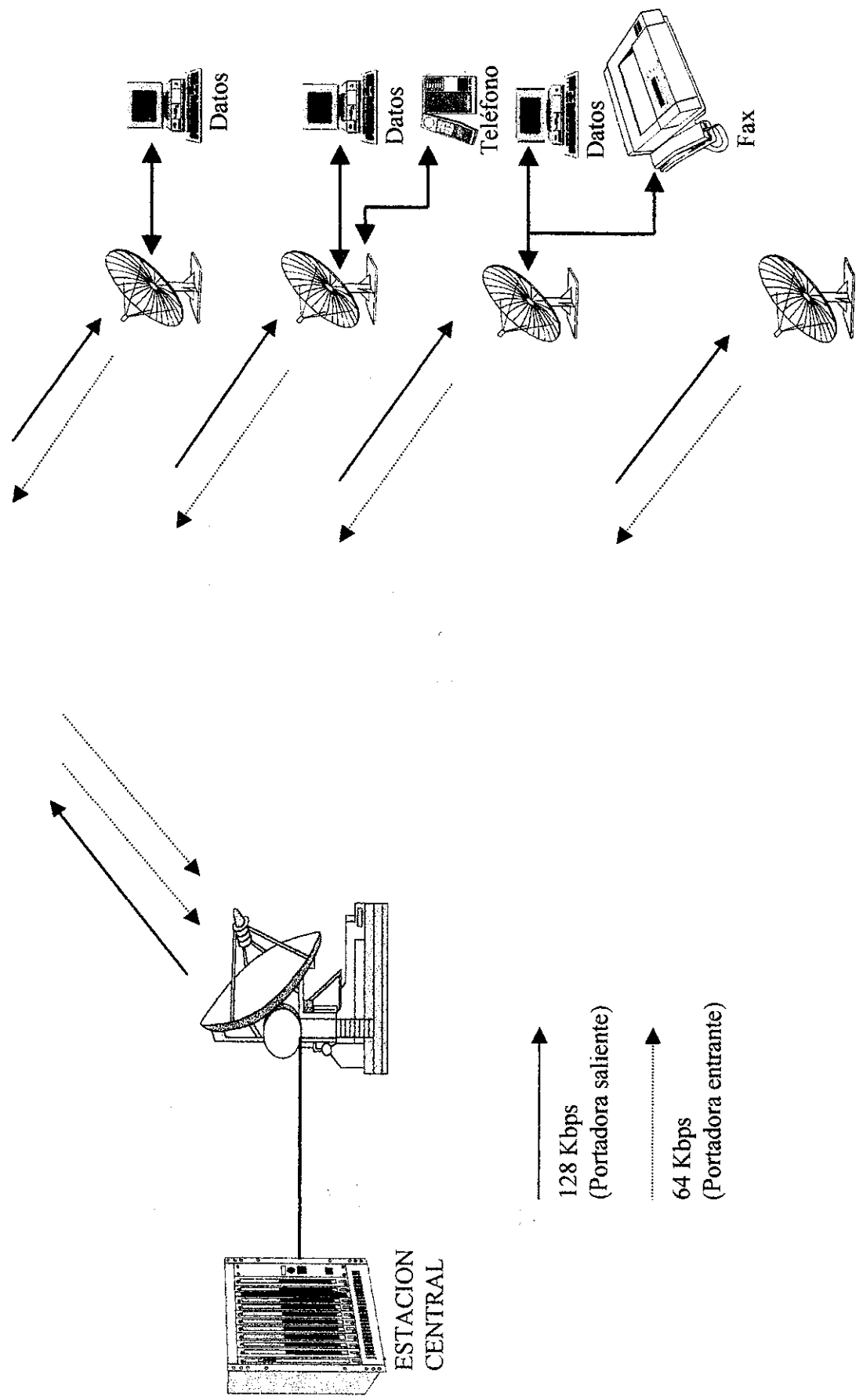


FIGURA 11: Posibles servicios en una red VSAT que utiliza técnicas TDMA puro o TDMA/TDMA

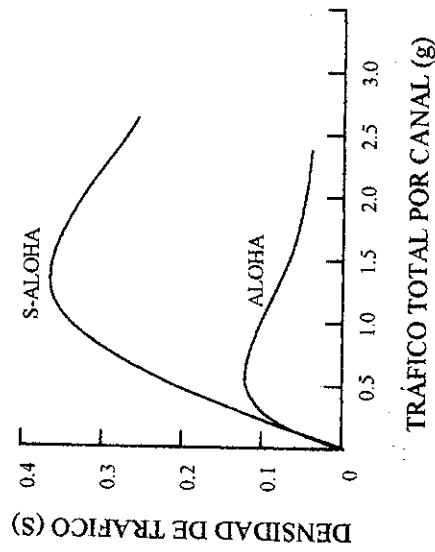


INTELSAT 706
a 307° E.

FIGURA 12: Red VSAT que utiliza técnicas TDM/TDMA



a)



$$\text{ALOHA } S = g \times \exp(-2g)$$

$$\text{S-ALOHA } S = g \times \exp(-g)$$

b)

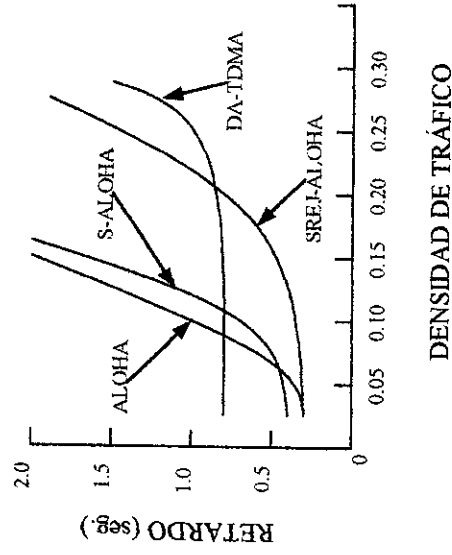


FIGURA 13: Comparación de características de densidad de tráfico y retardo

5 CÁLCULO DEL SEGMENTO ESPACIAL REQUERIDO

De acuerdo a lo visto anteriormente, los recursos satelitales que necesitará la red VSAT, dependerán de varios parámetros, tales como las características de los satélites, la G/T de las antenas, la velocidad de las portadoras, etc. El siguiente es un resumen de las suposiciones usadas para el cálculo.

5.1 Generalidades: Parámetros del satélite

Serie del satélite:	INTELSAT 706
Ubicación:	307° Este
Transpondedor:	NWZ/NWZ; 42/42
G/T del satélite:	-7.5
Ancho de banda del transpondedor:	72 MHz

5.2 Generalidades: Características de la estación terrena

A continuación se detallan las características de la estación central:

Diámetro de la antena:	11.1 m.
Ganancia de la antena de transmisión:	55.5 dBi
Ganancia de la antena de recepción:	51.8 dBi
G/T de recepción:	33.6 dB/K
Relación axial:	1.06
Banda de frecuencias:	Banda C
Pérdidas de alimentación:	3 dB

5.3 Características de las portadoras

La tabla XIII resume las características sugeridas para las portadoras en cualquiera de las técnicas

TABLA XIII: Características de las portadoras

RED	LS-TDMA	FATMA	TDM/TDMA		DAMA	HIBRIDA		
						TDM/TDMA		DAMA
			OB	IB	SCPC	OB	IB	SCPC
Vel. típica de datos del usuario	19.2 ~ 128 (Kbps)	19.2 ~ 128 (Kbps)	64 (Kbps)	19.2 (Kbps)	< 9.6 (Kbps)	64 (Kbps)	19.2 (Kbps)	< 9.6 (Kbps)
Compresión vocal (Kbps)	> 8	> 8	> 4.8		> 16	> 4.8		> 16
Vel. de datos de la portadora (Kbps)	1,544	1,024	128	64	16	128	64	16
Relación FEC	½	½	½	½	½	½	½	½
Esquema de modulación	QPSK	QPSK	BPSK	BPSK	QPSK	BPSK	BPSK	QPSK
Eb/No requerida en el receptor para una BER = 10 ⁻⁷	6.5 dB	6.5 dB	6.5 dB	6.5 dB	6.5 dB	6.5 dB	6.5 dB	6.5 dB
Margen pluvial Db (enlace de subida)	1	1	1	1	1	1	1	1
Margen pluvial dB (enlace de bajada)	1	1	1	1	1	1	1	1
Número de usuarios de datos	50	50	50		50	25		25
Número de usuarios de voz	50	50	50		50	25		25
Número de portadoras	2	1	4	16	80	1	3	50
Topología	MALLA	MALLA	ESTRELLA		MALLA	ESTRELLA		MALLA

Debe tenerse en cuenta que en este cuadro se supone que la red descrita cursa todo el tráfico combinado de los usuarios de voz y datos.

5.4 Dimensiones de la red

Las dimensiones de la red son determinadas principalmente por la aplicación, las características del tráfico del cliente, el número de sitios y la técnica de acceso.

Las características del tráfico dependen del tipo de aplicación que quiera emplear al usuario, el número de sitios remotos que estén empleando la aplicación al mismo tiempo, con cuánta frecuencia deban tratar con la estación central durante la hora de máximo tráfico (HMT), cuántos mensajes se envían por transacción en cada dirección, el volumen del mensaje, el protocolo y bitios suplementarios, el tiempo de respuesta, los servicios requeridos (voz, fax, etc.), y otro factores. Como no se tienen las características de un tráfico real, los cálculos se basan en los datos de la tabla XV.

5.4.1 Servicios de datos

Para calcular la carga de tráfico, el número de portadoras y el segmento espacial requerido, se debe considerar el volumen de tráfico que introducirá en la red cada usuario.

Dado que están involucrados varios sectores del mercado, las suposiciones de la tabla XIV son un intento de describir la actividad de cada sector económico.

TABLA XIV: Transacciones de datos y trafico de caracteres calculados

SECTOR DEL MERCADO	T	C _i	C _o	N _r	T _m	R _T
BBS	1,600	400	800	25	10	2
ICC	800	1,000	5,000	10	3	2
R&OC	1,800	100	100	5	15	2 ~ 5
ATM&CC	1,500	100	100	10	0.5	2 ~ 5
TOTAL				50		

donde:

- BBS: Bancos y empresas financieras.
 ICC: Compañías de seguros.
 R&OC: Minoristas y otras empresas.
 ATM&CC: Cajeros automáticos y puntos de verificación de tarjetas de crédito.
- T: Número de transacciones por día.
 C_i: Caracteres de entrada por transacción.
 C_o: Caracteres de salida por transacción.
 N_r: Número de usuarios, emplazamientos de VSAT.
 T_m: Transacciones por minuto en la hora de máximo tráfico (HMT).
 R_T: Tiempo de respuesta requerido.

Vale la pena mencionar que las cifras reales podrían ser muy diferentes de las cifras típicas aquí utilizadas, pero un tiempo de respuesta breve es una condición requerida común. Las aplicaciones tienden a ser asimétricas, generalmente con muchos menos datos de entrada que datos de respuesta.

Usando la siguiente fórmula para analizar la información sobre datos de tráfico de la tabla XV:

$$T_r = \frac{N_r \times P_L \times (8 \times P_T)}{(60/T_m)}$$

donde:

- T_r = velocidad total ofrecida a la red, en bitios/seg.
- N_r = número de terminales VSAT.
- P_T = número de paquetes por transacción.
- P_L = longitud del paquete en multibitios, 100 y 400 para el tráfico entrante y para el saliente, respectivamente.
- T_m = número de transacciones por hora (en HMT).

Se obtienen los resultados, que se resumen en la tabla XV:

TABLA XV: Cálculo del tráfico de la red

SECTOR DEL MERCADO	Tráfico entrante ($P_L = 100$ byte.)					Tráfico saliente ($P_L = 200$ byte.)				
	N_r	C_i	P_T	T_m	T_r	N_r	C_o	P_T	T_m	T_r
BBS	25	400	1	10	13,333	25	800	4	10	26,667
ICC	10	1,000	1	3	4,000	10	5,000	30	3	24,000
R&OC	5	100	1	15	1,000	5	100	1	15	2,000
ATM&CC	10	100	1	0.5	67	10	100	1	0.5	133
Tráfico total (T_r)	18,400					52,800				

5.4.2 Servicios de voz

Cada nodo de la red usado para servicios telefónicos rurales podrá suministrar un máximo de cuatro canales de voz por ubicación. Se necesita un máximo de 50 sitios para terminales VSAT para la telefonía rural.

Se considera que este servicio tiene una probabilidad de bloqueo del 5%, y sólo se considera el tráfico de VSAT a estación central. El tráfico de VSAT a VSAT se manejará a través de la central.

Por lo tanto:

Número de VSAT:	50
Número de canales por VSAT:	3
Duración media de la llamada:	5 min.
Probabilidad de bloqueo:	5%
Tráfico ofrecido por VSAT:	0.9 Erlang
Carga total ofrecida de la red:	45 Erlangs
Número equivalente de canales por satélite (HMT):	50

5.4.3 Carga de tráfico en la red

La carga de tráfico de la red consistirá en la combinación de tráfico de los usuarios de comunicaciones de datos y de voz. Considerando el hecho de que cada red ofrece diferente eficiencia, el número requerido de portadoras también será diferente. En la tabla XVI se trata de resumir las condiciones requeridas de cada tipo de red descrita:

TABLA XVI: Resumen del trafico y número de portadoras

	F-TDMA	FATMA	ALOHA*	DAMA	HIBRIDO**
Tráfico de datos (Kbps)	71	71	18.4 entrantes 52.8 salientes	71	18.4 entrantes 52.8 salientes
Tráfico de voz (canales)	45	45	45	45	45
Tráfico de voz (Kbps)	400	400	240	800	800
Tráfico bruto (Kbps)	n/c	471	258.4 entrantes 292.8 salientes	n/c	n/c
Velocidad de La portadora (Kbps)	1,544	1,024	64 entrantes 128 salientes	16	64/128 y 16 para ALOHA/ DAMA
Eficiencia %	95	85	30/85 Entrantes/saliente s	40 (para datos)	30/85
Vel. Máx. de Datos/portadora	n/c	n/c	n/c	4.8/9.6 Kbps	n/c / n/c
Método de Acceso	TDMA fijo	DA-TDMA	MCPC/SCPC	SCPC	MCPC/SCPC
Número de Portadoras	2	1	16 entrantes 4 salientes	80 DAMA	3 entrantes 1 saliente 50 DAMA

* Se refiere a la red TDM/TDMA

** Se refiere a dos redes que funcionan por separado, una TDM/TDMA y una DAMA.

Para calcular el número de portadoras, se utilizó la siguiente fórmula:

$$C_r = \frac{T_r \times (1 + OH)}{\eta \times R}$$

donde:

- C_r = número de portadoras para transmitir T_r .
- OH = suplemento de tráfico (no se considera en este caso).
- R = velocidad de la información de las portadoras.
- η = eficiencia del método de acceso.

5.5 Cálculo del segmento espacial y costo de la red

De acuerdo con el número de portadoras calculado en la tabla XVI y los parámetros descritos en las secciones 5.1 a la 5.3, el segmento espacial requerido para establecer la red VSAT para Guatemala será como se describe en la tabla XVII.

TABLA XVII: Resumen de requerimientos de segmento espacial

	F-TDMA	FATMA	ALOHA	DAMA	HIBRIDO
Ancho de banda del Segmento espacial (MHz)	16.4 MHz	5.5 MHz	8.6 MHz	13.6 MHz	10.7 MHz
Tamaño de la antena VSAT	3.8 m	3.8 m	2.4 m	3.8 m	2.4 m*/3.8 m**
Potencia del SSPA De la VSAT (vatios)	25	20	2	10	2*/10**
Precio por terminal VSAT	45,000	45,000	14,000	35,000	12,000* 35,000** 45,000***
COSTOS DE LA RED	4,600,000	4,625,000	1,900,000	3,800,000	3,380,000

* Usuarios de datos interactivos (datos solamente). Se suponen 40.

** Aplicación de telefonía rural (voz y datos en banda telefónica solamente). Se han supuesto 50.

*** Usuarios de voz y datos interactivos. Se han supuesto 10.

**5.6 Formato de estudio de campo para la
instalación de una VSAT**

A continuación se presenta un formato de estudio de campo para la instalación de una antena VSAT.

REPORTE DE ESTUDIO DE CAMPO

FECHA: DÍA/MES/AÑO

1. Completado por:
2. Nombre del lugar:
3. Dirección del lugar:
4. Nombre(s) persona(s) de contacto:
5. Indicar la latitud y longitud del lugar:
6. Está el edificio localizado en un área histórica:
7. Autorizaciones necesarias:
8. Tiempo estimado para obtener los permisos:
9. Problemas anticipados:
10. Existe reglamento legal que impida trabajar en el lugar?

11. Adjuntar un mapa de la ciudad o del área denotando la localización del lugar de la instalación.

DATOS DE LA ANTENA

12. Diámetro de la antena:
13. Se observan obstrucciones en el lugar:

DESCRIPCION DEL LUGAR

14. Area general:
15. Sector:
16. Terreno:

DESCRIPCION DEL EDIFICIO

17. Altura (número de pisos):

18. Lugar del equipo terminal:
19. Construcción del edificio:
20. Tipo de azotea:
21. Años de vida del edificio:
22. Proveer un bosquejo del edificio indicando lo siguiente:
 - a) Norte/Sur
 - b) Escala aproximada del dibujo
 - c) Propuesta de la ubicación de la antena
 - d) Enrutamiento aproximado del ducto que llevara el cable
 - e) Longitud aproximada del ducto que llevara el cable
 - f) Localización de la entrada principal
 - g) Localización del área de descarga
 - h) Localización del parqueo
23. Es adecuado el parqueo para un camión de carga:
24. Existe un puente de descarga disponible:
25. Existe un elevador de carga o pasajeros:
26. Hay una bodega temporal para equipo:
27. Es posible mover el equipo del camión de carga al lugar de la antena y al cuarto de equipos:
28. Acceso a la azotea:

29. Si no es clara la forma de subir el equipo a la azotea, investigar con el administrador del edificio si es posible transportarlo de las siguientes formas:

- a) Si el equipo puede ser llevado por helicóptero.
- b) Si el equipo puede ser subido con poleas.

DESCRIPCION DEL CENTRO DE COMPUTO

- 30. Describir donde será instalada la IDU:
- 31. Es adecuada la circulación de aire:
- 32. Describir en un plano los lugares por donde pasara el cable de IF indicando si hay que penetrar alguna pared:
- 33. Pasará el cable de IF en algún punto en el espacio libre:
- 34. Hay operadores de aire acondicionado los fines de semana:
- 35. Está la temperatura en el rango de 15 a 30 grados Centígrados:
- 36. Hay una unidad de poder (UPS) disponible:
- 37. Tendrá el equipo su propio panel de energía:

38. Estará alimentado directamente del panel principal:
39. Hay un sistema de incendios instalado:
40. Tipo de sistema de incendios:
41. Existe un teléfono disponible para uso de los técnicos que efectúen la instalación:
42. Hacer un bosquejo de la habitación donde se instalarán los equipo, indicando lo siguiente:
 - a) Localización de la cabina de equipos.
 - b) Localización de todos los tomacorrientes.
 - c) Localización del panel de energía.
 - d) Localización de cualquier mueble (armario, escritorio, etc.)
 - e) Localización de los componentes del sistema contra incendio.
 - f) Localización del sistema de tierra.

N/A = No Aplica

CONCLUSIONES

1. Debido a la técnica que emplea, facilidad de configuración y montaje, el acceso DA-TDMA es la mejor forma para manejar el protocolo de varios usuarios.
2. Este proyecto puede llevarse a cabo utilizando un segmento espacial del transpondedor 42/42 del satélite INTELSAT 706 a 307°E, facilidad que posee la empresa TELGUA, S.A.
3. El medio físico que servirá para la transmisión y recepción de la información que se procesara por medio de esta red es ejecutable a través de la estación terrena Jezriel, que cumple con todo los requerimientos técnicos como central principal HUB, de dicho sistema VSAT TDMA
4. La inversión de este proyecto puede realizarse a través de un financiamiento de arrendamiento del sistema con opción a compra "leasing", que puede obtenerse por medio de proveedores de equipo de telecomunicaciones.
5. Las redes VSAT han venido a solucionar el problema de comunicación de áreas con accesos terrestres no implementados, tienen un alcance para el transporte de información rápida, concisa y eficiente para el desarrollo de Guatemala, especialmente por la necesidad de comunicación que al exterior ha creado la firma de la paz.

6. Debido al proceso de globalización las comunicaciones vienen siendo una de las fuentes del desarrollo socioeconómico de Guatemala, con el aprovechamiento de la infraestructura establecida en el mismo, facilita la implementación de una red VSAT TDMA.

RECOMENDACIONES

1. Es necesario resolver de forma rápida la falta de infraestructura de telecomunicaciones en el interior del país y para esto, el documento plasma la propuesta de una red VSAT, que es una buena opción debido a su innovación de tecnología que posee.
2. Para facilitar el modo de operación, mantenimiento y operación de la red, se recomienda usar DA-TDMA como técnica de acceso, como se describe en el inciso (d) de la sección 4.2.1, para obtener un mejor transporte de los protocolos de varios usuarios.
3. Con la finalidad de optimizar los sistemas de la Empresa TELGUA, S.A. se recomienda utilizar la estación terrena Jezriel, como estación central de la red para reducir los costos de inversión.
4. Aprovechando las facilidades satelitales con las se cuenta en el país, es conveniente utilizar una porción de segmento espacial a través del transpondedor 42/42 del satélite 307°E de INTELSAT, ya que actualmente TELGUA, S.A. paga por arrendamiento de dicho transpondedor.

5. Es conveniente realizar una evaluación del costo del proyecto a través de cotizaciones solicitadas a proveedores (ver apéndice 1) para analizar cuál es la mejor oferta para adquisición de los equipos.

6. Hacer un estudio de mercado para determinar los lugares donde se tiene más demanda de servicios de telecomunicaciones en el interior del país, con la finalidad de crear un dimensionamiento óptimo de la red.

BIBLIOGRAFIA

1. CARLSON, Bruce A. *Communication Systems*. 3ª. ed Estados Unidos: Editorial McGraw Hill, s.a.
2. COXFORD, Arthur F. y Joseph N. Payne. *Advanced mathematics (preparation for calculus)*. Estados Unidos: Editorial Harcourt Brace Jovanovich, 1988.
3. GORDON, Gary y Walter Morgan. *Principles of communications satellites*. Estados Unidos: Editorial Wiley, 1993.
4. HERNANDO Rábano, José María. *Transmisión por radio*. España: Editorial Centro de estudios Ramón Areces, S.A., s.a.
5. MARAL, G. *VSAT networks*. Estados Unidos: Editorial John Wiley & Sons, S.A., s.a.
6. REDES VSAT. <http://www.cicese.mx/fisica/electroytel/interes/vsat.htm>
7. VSAT. http://www.etsit.upv.es/asig/5º/tel_esp/Pract_4/vsat_hpg.htm
8. WHAT is a VSAT?. <http://www.ge.com/capital/spacenet/vsatcent/what-is.htm>

APÉNDICE 1

LISTA DE POSIBLES PROVEEDORES

COMPañÍA	PRODUCTO	PROTOCOLOS UTILIZABLES	SERVICIOS DE VOZ	PARA MAYOR INFORMACIÓN
Andrew VSAT Systems	SWAN	1,2,3,4,5,6	SÍ	Tel: 1 510 226 8728 Fax: 1 510 226 8740
AT&T Tridom	Clearlink	1,2,5,6,7,8,10	SÍ	Tel: 1 404 426 4261 Fax: 1 404 514 1737
Comsat/RSI	TerraSat 200	1,5,6,9	NO	Tel: 1 301 428 5033 Fax: 1 301 428 5414
Comstream/Spar	VSATPlus II	10 (sin información)	SÍ	Tel: 1 619 458 1800 Fax: 1 619 552 0488
Gilat Satellite Networks	TwoWay VSAT	1,2,4,5,6,7,8,10	SÍ	Tel: 972 3 499 068 Fax: 972 3 648 7429
GE Spacenet	Skystar Plus	1,2,4,5,6,7,8,10	SÍ	Tel: 1 703 848 1407 Fax: 1 703 848 1011
Hughes Network Systems	PES, TES	1,2,5,6,8,9,10	SÍ	Tel: 1 301 428 7058 Fax: 1 301 428 2804
NEC	NEXTAR VO	1,2,3,5,6,7	SÍ	Tel: 1 703 834 1455 Fax: 1 703 481 6904
Satellite Technology Management	X.Star	1,2,3,4,5,6,7	SÍ	Tel: 1 714 753 7864 Fax: 1 714 753 1122
Scientific Atlanta	SkyRelay	1,2,5,6,7,8,10	SÍ	Tel: 1 407 255 5003 Fax: 1 407 253 3701