

68

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

· COMUNICACIONES ·
OPERACION DEL PROTOCOLO
TDMA A UNA RED SATELITAL
VSAT

TRABAJO DE SEMINARIO
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A :
JUAN CARLOS MUÑOZ TORRES

ASESOR: ING. RODOLFO LOPEZ GONZALEZ

284214

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.,

2000



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES



DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E

ATN Q Ma del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 51 del Reglamento de Exámenes Profesionales de la FES-Cuautitlán, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el Trabajo de Seminario

Comunicaciones, Operación del Protocolo TDMA a una Red Satelital VSAT,

que presenta el pasante Juan Carlos Muñoz Torres,

con número de cuenta 8510976-4 para obtener el título de

Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXÁMEN PROFESIONAL correspondiente otorgamos nuestro VISO BUENO

A T E N T A M E N T E

"FOR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Mex a 19 de septiembre de 2000

MODULO	PROFESOR	FIRMA
<u>I</u>	<u>Ing. Jorge Ramírez Rodríguez</u>	<u>[Firma]</u>
<u>II</u>	<u>Ing. Vicente Magaña González</u>	<u>[Firma]</u>
<u>III</u>	<u>Ing. Rodolfo López González</u>	<u>[Firma]</u>

Agradezco

A Dios, por estar siempre conmigo.

A mi Padre, por su ejemplo.

A mi Madre, por su paciencia.

A mis Hermanos, por su compañía.

A Susy Zapata, por su apoyo.

Al Arq. Mario Alberto Zapata.



Índice

INTRODUCCION

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN A LAS COMUNICACIONES POR SATÉLITE

1. Antecedentes.....	1
1.1. Desarrollo de los Satélites.....	3
2. Mecánica Orbital	
2.1. Geometría Elíptica.....	4
2.2. Sistema de Referencia Geocéntrico	7
3. Tipos de Órbitas	
3.1. Órbitas Polares	10
3.2. Órbitas Inclínadas.....	13
3.3. Órbita Geosíncrona	14
4. Terminología de las Comunicaciones vía Satélite	
4.1. Enlace Satelital Ascendente.....	16
4.2. Enlace Satelital Descendente.....	17
4.3. Enlace Intersatelital	18
4.4. Bandas de Frecuencias para Satélites	19
5. Sistemas de Satélites	
5.1. Subsistemas de un Satélite	22
5.2. Subsistema de Comunicación	24

CAPITULO II

REDES VSAT

1. Introducción a las Redes VSAT	27
1.1. Redes VSAT versus Redes Terrestres	29
1.2. Topología de las Redes VSAT	31
2. Generalidades de las Aplicaciones de Redes VSAT	32
2.1. Beneficios de las Redes VSAT	36

CAPITULO III

OPERACIÓN DEL PROTOCOLO TDMA

1. Protocolos de Acceso al Satélite	38
2. Protocolos de Acceso a la Red Satelital	39
2.1. Redes TDM/TDMA	40
2.2. Redes SCPC/DAMA.....	45
2.3. Implementación de Protocolos de Redes VSAT	47
3. Protocolos del Usuario.....	48
4. Método AAA/TDMA.....	50
4.1. Operación en Modo de Acceso Aleatorio	53
4.2. Operación en Modo de Reservación	55
4.3. Operación en Modo de Pre-Reservación.....	56
4.4. Operación en Modo de Asignación Permanente.....	57
4.5. Asignación del Canal Satelital	59
4.6. Arquitectura de la Red.....	59
4.7. Control de Errores y de Flujo.....	63
5. Método AA/TDMA.....	65
6. Comparación de las Técnicas de Acceso Múltiple	65

CONCLUSIONES	67
GLOSARIO	I
BIBLIOGRAFIA	II

FIGURAS

Fig. I.1	Descripción de la Elipse	6
Fig. I.2	Ángulo de Inclinación (i)	9
Fig. I.3	Ángulo del Nodo Ascendente (Ω)	9
Fig. I.4	Argumento de Perigeo (ω).....	10
Fig. I.5	Tres Satélites en la Órbita de Clarke para una Cobertura Global	14
Fig. I.6	Rotación de los Satélites Geoestacionarios.....	15
Fig. I.7	Enlace Satelital Ascendente	17
Fig. I.8	Enlace Satelital Descendente	18
Fig. I.9	Enlace Intersatelital	19
Fig. I.10	Espectro Electromagnético de Frecuencias y Bandas Designadas	20
Fig. I.11	Estructura de un Satélite Spacenet	23
Fig. I.12	Elementos de un Cálculo de Enlace	24
Fig. I.13	Configuración Básica de un Transponder.....	26
Fig. II.1	Diagrama a Bloques de una Terminal VSAT	27
Fig. II.2	Diagrama a Bloques de una Estación Hub	28
Fig. II.3	Típica Red Terrestre.....	30
Fig. II.4	Topologías de Redes VSAT	31
Fig. II.5	Aplicaciones Broadcast y Narrowcast.....	33
Fig. II.6	Servicio de Internet con Retorno por Enlace Terrestre	34
Fig. III.1	Diferentes Niveles de Protocolos en un Red VSAT	37
Fig. III.2	Técnicas de Acceso al Satélite	38
Fig. III.3	Protocolos de Acceso a la Red Satelital	39
Fig. III.4	Operación de los Protocolos de Acceso Múltiple	43

Fig. III.5	Operación en Modo de Asignación por Demanda con Reservación	44
Fig. III.6	Comparación de la Eficiencia de los Protocolos de Acceso	45
Fig. III.7	Operación del Protocolo SCPC/DAMA	46
Fig. III.8	Protocolos de Redes VSAT	48
Fig. III.9	Implementación de una Red TDM/TDMA	50
Fig. III.10	Esquema del Canal de Transmisión HUB - VSAT (<i>Outbound</i>).....	51
Fig. III.11	Esquema del Canal de Transmisión VSAT-HUB (<i>Inbound</i>)	52
Fig. III.12	Concepto del Canal Aloha Ranurado.....	54
Fig. III.13	Reservación de Ranuras en el Método AAA/TDMA.....	55
Fig. III.14	Arquitectura de la red NEXTAR.....	60
Fig. III.15	Formato de la Trama de <i>Outbound</i> y Secuencia de Temporización	61
Fig. III.16	Formato de la Trama de <i>Inbound</i> y Secuencia de Temporización	62
Fig. III.17	Comparación TDMA / FDMA / CDMA.....	66

TABLAS

Tabla I.1	Parámetros de Secciones Cónicas	6
Tabla I.2	Tipos de Órbitas por su Inclinação.....	8
Tabla I.3	Porcentaje de la Superficie Terrestre.....	11
Tabla I.4	Bandas de Frecuencias para Satélite	21
Tabla I.5	Banda Ku vs Banda C	22
Tabla III.1	Comparación del Desempeño de los Protocolos de Acceso.....	45
Tabla III.2	Características de los Sistemas TDMA.....	65
Tabla III.3	Ventajas y Desventajas en los Protocolos de Acceso Múltiple.....	66

Introducción

Las comunicaciones han sufrido una enorme evolución desde las primeras transmisiones inalámbricas realizadas por Marconi, sin embargo han tenido limitaciones que han requerido la investigación de nuevas fuentes de transmisión y recepción de información.

Estas han evolucionado de formas ininterrumpidas del telégrafo al teléfono, radio, televisión, etc., pero las principales limitantes de este tipo de transmisiones es que se requiere que entre las antenas transmisoras y receptoras no exista ningún obstáculo que interfiera con la señal, esto es problemático cuando se cuenta con una geografía tan accidentada como la que tenemos en México, una posible solución sería la instalación de redes de cableado pero esto significaría un costo gigantesco aunado a un caro mantenimiento del mismo, así como la instalación de repetidoras para compensar los efectos de atenuación y demás que afecten a las señales enviadas.

Aproximadamente en la mitad de este siglo se dio un gran auge a la experimentación con señales que se transmitían desde la tierra y que eran recibidas por satélites geoestacionarios y posteriormente regresadas a la tierra, a este tipo de transmisión de datos se le conoce como transmisiones vía satélite, sus primeros objetivos eran militares transmitiendo ondas de ancho de banda limitado, casi exclusivamente voz y datos, después se incursionó en otras áreas tales como transmisiones de ondas de ancho de banda más grande y complejo que incluyeron audio y video, de esta forma se empezaron a incluir objetivos más comunes como lo son las comunicaciones civiles, esto es incluyendo transmisiones de radio y televisión vía satélite.

En la actualidad los satélites de telecomunicaciones son capaces no sólo de recibir información de la tierra y regresarla, sino también de recibir señales del espacio y analizarlas, así como de manejar señales muy complejas de anchos de banda muy grandes.

En este contexto una de las soluciones que les presentan a las medianas y grandes empresas en la transmisión de información (video, voz, datos, etc.) a una sucursal o la matriz y viceversa es la instalación de pequeños sistemas de comunicación vía satélite conocidos mejor como VSAT (Very Small Aperture Terminal).

Capítulo Uno

INTRODUCCIÓN A LAS COMUNICACIONES VÍA SATÉLITE

1. Antecedentes

Después que los precursores de la radio, nos demostraran que se podían enviar señales a distancia, se empezaron a utilizar las frecuencias llamadas de onda larga, al darse cuenta que, por mucho que acortaran la longitud de onda, éstas se perdían en el Horizonte.

En el transcurso de la Primera Guerra Mundial, unos soldados norteamericanos destinados en Francia construyeron sus respectivos equipos de onda corta para comunicarse entre sus respectivas trincheras. Cuál no sería su sorpresa el enterarse que estas conversaciones estaban siendo escuchadas por algunos colegas en Norteamérica. En diciembre de 1921 la ARRL (American Radio Relay League), envió a Europa a F. Godley, con indicativo 2Ze, con el mejor equipo de recepción disponible en aquellos momentos. Comenzaron las pruebas y fueron escuchadas treinta estaciones norteamericanas en Europa. En 1923 se conseguían los primeros contactos bilaterales. Habían nacido las ondas decamétricas (HF).

Nuevamente se sufrió un paro en los 30 MHz. Por mucho que subieran de frecuencia sólo conseguían perderse más allá del horizonte.

Por esta época (1930-1940) empezaba la televisión a hacer furor y encontraron un amplísimo campo sin molestar no solo al resto de las ya saturadas ondas decamétricas, sino además utilizando todo el ancho de banda necesario para cubrir los márgenes de audio y video (unos 6 MHz aproximadamente) y la posibilidad de emitir cuantas estaciones quisieran a escasa distancia una de otra sin interferirse. El margen de frecuencias de 88 a 108 MHz se destinó íntegramente para el servicio de estaciones de radiodifusión en frecuencia modulada (FM), banda ancha, consiguiendo extraordinaria calidad en la alta fidelidad de sus emisiones y hasta transmisiones en estéreo.

Un poco más arriba, sobre los 120 MHz, el Servicio Aeronáutico, y la televisión mundial, que se había quedado encerrada en los 50 MHz, entra de lleno en la ultra alta frecuencia (UHF) entre los 440 y los 800 MHz. Los servicios telefónicos en los 900 Mhz. y gracias a los radioaficionados entramos a la época de los gigahercios (1200 MHz). Pero todo esto sólo servía para cortas distancias. Si acaso algún salto esporádico y poco más. Los experimentadores buscaban nuevas aplicaciones. ¿Por qué no un gran salto con repetidores aéreos?.

A principios de 1960, la American Telephone and Telegraph Company (AT&T) publicó estudios, indicando que unos cuantos satélites poderosos, de diseño avanzado, podían soportar más tráfico que toda la red AT&T de larga distancia. El costo de estos satélites fue estimado en sólo una fracción del costo de las facilidades de microondas terrestres equivalentes. Desafortunadamente, debido a que AT&T era un proveedor de servicios, los reglamentos del gobierno le impedían desarrollar los sistemas de satélite. Corporaciones más pequeñas y menos lucrativas pudieron desarrollar estos sistemas y AT&T continuó invirtiendo billones de dólares cada año en los sistemas de microondas terrestres convencionales. Debido a esto, los desarrollos iniciales en la tecnología de satélites tardaron en surgir.

A través de los años, los precios de la mayoría de los bienes y servicios han aumentado substancialmente; sin embargo, los servicios de comunicación, por satélite, se han vuelto más accesibles cada año. En la mayoría de los casos, los sistemas de satélite ofrecen más flexibilidad que los cables submarinos, cables subterráneos escondidos, radio de microondas en línea de vista, radio de dispersión troposférica, o sistemas de fibra óptica.

Esencialmente, un satélite de comunicaciones es un repetidor de radio en el cielo (*transponder*). Un sistema de satélite consiste de un transponder, una estación basada en tierra, para controlar su funcionamiento y una red de usuario, de las estaciones terrestres, que proporciona las facilidades para transmisión y recepción de tráfico de comunicaciones a través del sistema. Las transmisiones de satélite se catalogan como *bus* o *carga útil*. La de bus incluye mecanismos de control que apoyan la operación de carga útil. La de carga útil es la información del usuario que será transportada a través del sistema. Aunque en los últimos años los nuevos servicios de datos y radioemisión de televisión son más demandados, la transmisión de las señales de teléfono de voz convencional, aún representan la mayor parte del volumen de la carga útil por satélite.

1.1. Desarrollo de los Satélites

El tipo más sencillo de satélite es el *reflector pasivo*, un dispositivo que simplemente “rebota” una señal de un lugar a otro. La luna es un satélite natural de la tierra, y como consecuencia a finales de la década de 1940 y principio de la década de 1950, se convirtió en el primer satélite pasivo.

En 1954 la marina de los Estados Unidos transmitió exitosamente los primeros mensajes sobre esta ruta de la Tierra a la Luna y de nuevo a la Tierra. En 1956, se estableció un servicio de transmisión, entre Washington D.C. y Hawai y, hasta 1962, ofreció comunicaciones confiables de larga distancia. El servicio estaba limitado sólo por la disponibilidad de la Luna.

En 1957, la ahora desintegrada Unión Soviética lanzó el *Sputnik I*, el primer satélite terrestre *activo*. Un satélite activo es capaz de recibir, amplificar y retransmitir información desde y hacia las estaciones terrestres. El *Sputnik I* transmitió información telemétrica por 21 días. Más adelante en el mismo año, Estados Unidos lanzó el *Explorer I*, el cual transmitió información telemétrica por casi 5 meses.

En 1958 la NASA lanzó el *Score*, un satélite con forma cónica de 75 kilogramos de peso. Con una grabación a bordo, el *Score* emitió el mensaje navideño de 1958 del presidente Eisenhower. El *Score* fue el primer satélite artificial utilizado para retransmitir las señales de comunicaciones terrestres. El *Score* fue un *satélite repetidor retardado*; recibía transmisiones de las estaciones terrestres, las almacenaba en una cinta magnética y las emitía a las estaciones terrestres más adelante en su órbita.

En 1960, la NASA, en conjunción con los Bell Telephone Laboratories y el Jet Propulsion Laboratory, lanzaron al satélite *Echo*, un globo de plástico de 30 metros de diámetro, con una capa de aluminio. El *Echo* reflejaba pasivamente las señales de radio desde una antena terrestre grande. El *Echo* era sencillo y confiable, pero requería de transmisores de extremadamente alta potencia en las estaciones terrestres. La primera transmisión trasatlántica pasiva utilizando un satélite fue lograda a través del *Echo*. Además, en 1960, el departamento de defensa lanzó a *Courier*. El satélite *Courier* transmitió 3 W de potencia y duró solo 17 días. Con el *Echo* sólo una parte en cada 10^{18} de la potencia transmitida de la estación de tierra fue regresada a la antena de recepción de la estación terrestre.

En 1962, AT&T lanzó el *Telstar I*, el primer satélite que recibía y transmitía simultáneamente. El equipo electrónico, en el *Telstar I*, fue dañado por la radiación de los recientemente descubiertos cinturones de Van Allen y, consecuentemente, duró sólo unas cuantas semanas. El *Telstar II* era, electrónicamente, idéntico al *Telstar I*, pero estaba construido con mayor resistencia a la radiación. El *Telstar II* fue lanzado exitosamente en el año de 1963. Este satélite fue utilizado para la transmisión de teléfono, televisión, fax y datos. La primera transmisión trasatlántica activa vía satélite fue lograda a través del *Telstar II*.

Los primeros satélites fueron del tipo pasivo y activo. Nuevamente, un satélite pasivo es el que simplemente refleja una señal de regreso a la tierra; no hay dispositivos de ganancia a bordo, para amplificar o repetir la señal. Un satélite activo es el que de manera electrónica, repite una señal a la tierra: por ejemplo recibe, amplifica y retransmite la señal. Algunos satélites cuentan con un *transmisor de guía de radio* para propósitos de rastreo y rangos. Una guía es una portadora no modulada transmitiendo continuamente a la cual una estación terrena se puede unir y usar para alinear sus antenas o para determinar la ubicación exacta del satélite (se le conoce también como *beacon*).

2. Mecánica Orbital

2.1. Geometría Elíptica

La teoría básica del movimiento de los planetas alrededor del sol fue descrita por Kepler entre 1602 y 1618. Dicha teoría surgió de la observación directa del movimiento de los planetas, y es aún el modelo base para describir el movimiento, no sólo de los planetas alrededor del sol, sino de cualquier cuerpo alrededor de otro. Por lo tanto, esta teoría se aplica al movimiento de los satélites alrededor de la tierra. Esta teoría esta contenida en las tres leyes que formuló:

- I. Los planetas se mueven en un plano; las órbitas describen elipses con el sol en uno de los focos.
- II. El vector del radio desde el sol hasta los planetas barre áreas iguales en tiempos iguales.

- III. El cuadrado del periodo orbital (T) del planeta, dividido por su distancia promedio al sol, es una constante para todos los planetas.

$$T^2 \propto a^3$$

El siguiente avance sobre el movimiento de los cuerpos lo dio I. Newton en 1667. Newton extendió el trabajo de Kepler y formuló la ley de la Gravitación Universal de la cual se derivó la ecuación de movimiento de los planetas de acuerdo a trayectorias descritas por las secciones cónicas: la elipse, el círculo, la parábola, y la hipérbola. De ellas la elipse y el círculo son las más importante ya que representan órbitas cerradas. La parábola y la hipérbola se usan para vuelos interplanetarios:

$$\vec{F} = - \left[\frac{GMm}{r^2} \right] \cdot \frac{\vec{r}}{r}$$

Donde:

- G = $6.672 \times 10^{-11} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$ (constante gravitacional)
- M = Masa de uno de los dos cuerpos = $5.974 \times 10^{24} \text{ kg}$ (la tierra)
- m = Masa de uno de los dos cuerpos
- μ = GM = parámetro gravitacional = $3.986 \times 10^{14} \text{ m}^3\text{s}^{-2}$

Ya que sólo las órbitas cerradas son de interés para los satélites artificiales, y a que el círculo es un caso especial de una elipse, sólo las características de ésta serán revisadas. La figura I.1 muestra una elipse y la descripción de cada uno de sus parámetros.

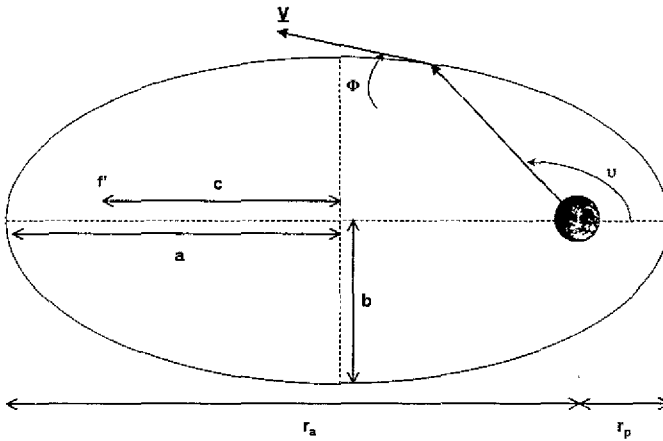


Fig. I.1 Descripción de la Elipse

Donde:

r = Vector de radio del satélite

V = Vector de velocidad del satélite

u = Anomalía real

ϕ = Ángulo de patrón de vuelo

r_a = Radio del apoapsis

r_p = Radio del periapsis

a = Semi-eje mayor

b = Semi-eje menor

c = Semi-distancia entre focos $\rightarrow c^2 = a^2 - b^2$

e = c/a = Excentricidad $\rightarrow e = \frac{r_a - r_p}{r_a + r_p}$

Sección Cónica	e	a	c
Elipse	< 1	> 0	> 0
Círculo	0	b	0
Parábola	1	∞	∞
Hipérbola	> 1	< 0	< 0

Tabla I.1 Parámetros de Secciones Cónicas

Una vez que la elipse ha sido descrita, es necesario detallar las características más importantes del satélite que se mueve dentro de esa órbita; sean estas su velocidad y su período. De acuerdo a la tercera ley de Kepler, la velocidad de un objeto en su órbita no es constante y depende de la anomalía real. Para calcular las variaciones de velocidad que sufre un cuerpo en una órbita se utiliza la relación directa que hay con la energía mecánica específica del sistema, y la dependencia de esta última de los parámetros "a" y "μ". El resultado final que se obtiene es el siguiente:

$$v = \sqrt{\mu \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)}$$

Además de la velocidad instantánea, se requiere conocer el período anomalístico. Este se define como el tiempo requerido para que la anomalía real gire 2π radianes. Para obtener este período se utiliza la relación directa que se tiene con el momento angular. El resultado es la siguiente fórmula que demuestra la tercera ley de Kepler:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{a^3}{\mu}}$$

2.2. Sistema de Referencia Geocéntrico

Una vez que la órbita de un satélite está descrita en su plano ideal aislado, es necesario referirlo a un sistema general tridimensional para poder tener una referencia válida para cualquier órbita. El sistema de coordenadas geocéntrico-ecuatorial (GECS) es el que comúnmente se selecciona para sistemas satelitales. Puede ser considerado como un marco de referencia inercial por intervalos razonables, y es similar al sistema usado para astronomía.

El sistema GECS tiene su origen en el centro de la tierra, con el ecuador como plano principal y la definición de ejes se da de la siguiente manera:

- ✓ La línea perpendicular (eje z) al plano ecuatorial es la dirección del polo norte (apunta muy cerca de la estrella Solaris).

- ✓ La dirección principal (eje x) dentro del plano ecuatorial es la del equinoccio de primavera (primer punto en Aries).
- ✓ El tercer eje (eje z) se define para completar el sistema ortogonal.

La dirección del equinoccio de primavera se define como la dirección en la cual el sol cruza el ecuador de sur a norte el primer día de primavera.

Cuando el sistema de coordenadas ya está definido, es necesario describir ciertas variables para ubicar las órbitas dentro del sistema. Los elementos Keplerianos determinan en conjunto el tamaño, la forma y la orientación de cada órbita y son: a , e , i , Ω , ω . Los primeros parámetros ya han sido descritos y son el semi-eje mayor y la excentricidad.

La línea de intersección entre el plano orbital y el ecuatorial se le denomina la línea de nodos. El nodo ascendente es el punto sobre esa línea en el cual el satélite cruza el ecuador de sur a norte. La inclinación de la órbita (i) está referida con respecto al plano ecuatorial. Es el ángulo medido en el ángulo ascendente, en sentido contrario al movimiento de las manecillas del reloj, desde el ecuador al plano orbital. Puede tomar valores entre 0° y 180° .

Inclinación	Tipo de Órbita
0° ó 180°	Ecuatorial
90°	Polar
$0^\circ < i < 90^\circ$	Directa (se mueve en la dirección de rotación de la Tierra)
$90^\circ < i < 180^\circ$	Indirecta (se mueve al contrario de la rotación de la Tierra)

Tabla 1.2 Tipos de Órbitas por su Inclinación

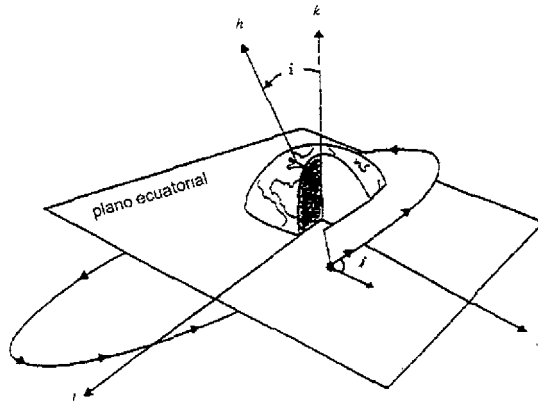


Fig. 1.2 Ángulo de Inclinación (i)

Para completar la descripción del plano orbital se utiliza un segundo ángulo que define la ubicación de la línea de nodos en base al nodo ascendente. Este ángulo se mide en contra del movimiento de las manecillas del reloj (hacia el este), desde el primer punto en Aries hacia el Nodo Ascendente.

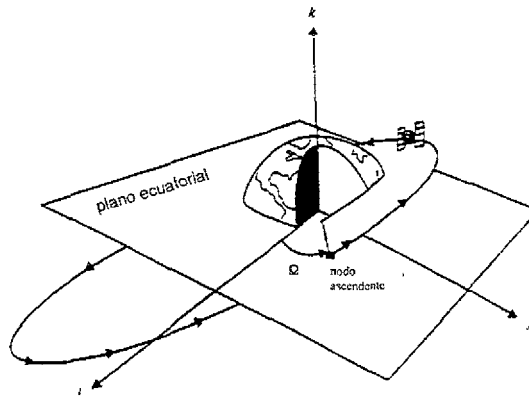
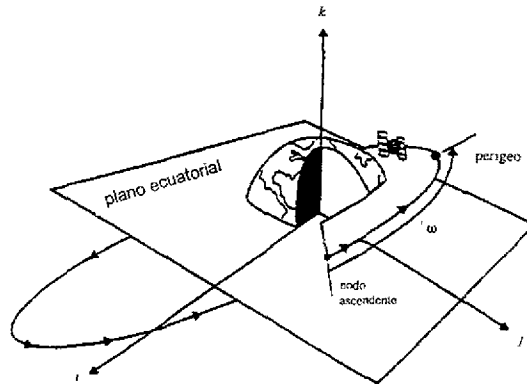


Fig. 1.3 Ángulo del Nodo Ascendente (Ω)

Con los dos ángulos anteriores queda definida la orientación del plano en el sistema coordenado, pero la orientación de la órbita dentro de su plano se define al agregar el argumento de perigeo. Éste es el ángulo medido en la dirección de movimiento del satélite desde el nodo ascendente hasta el punto de perigeo.

Fig. I.4 Argumento de Perigeo (ω)

3. Tipos de Órbitas

3.1. Órbitas Polares

Las órbitas polares se utilizan principalmente para satélites meteorológicos, con alturas de aproximadamente 1600 km. y períodos de órbitas de aproximadamente 100 min. Durante una revolución del satélite, sin embargo, la tierra rota aproximadamente 25° . Por lo tanto el punto subsatelital de una órbita polar traza círculos alrededor de los polos, los cuales están separados por 25° respecto al ecuador. Las órbitas polares normalmente se diseñan para ser *solar-síncronas*, de tal manera que el satélite redibuje la misma órbita a la misma hora del día, y por lo tanto "mira" hacia la tierra cada día en condiciones de iluminación idénticas.

Desde un punto de vista de comunicaciones, existen varios parámetros clave asociados con un satélite: (1) área de cobertura, o la porción de la superficie terrestre que puede recibir las transmisiones satelitales; (2) el ángulo de elevación al cual una estación terrena observa al satélite; (3) el rango de la línea de vista (distancia real a la línea de vista desde un punto fijo sobre la Tierra al satélite); y (4) el tiempo durante el cual un satélite es visible con un ángulo de elevación prescrito. El ángulo de elevación es importante, ya que las comunicaciones pueden ser atenuar significativamente

si el satélite debe ser visto a un ángulo de elevación bajo, esto es, un ángulo muy cerca del horizonte. Podemos establecer que el área de cobertura A_{cob} como una fracción de la superficie terrestre total está dada por:

$$A_{cob} = (2\pi r_E^2)(1 - \cos \Phi_E)$$

Donde:

$$\Phi_E = \cos^{-1} \left(\frac{r_E \cos \Phi_b}{r_E + h} \right) - \Phi$$

Ya que el área total de la superficie de la Tierra es $4\pi r_E^2$, podemos reescribir el A_{cob} como una fracción de la superficie total de la Tierra:

$$\frac{A_{cob}}{4\pi r_E^2} = 0.5(1 - \cos \Phi_E)$$

La tabla I.3, muestra esta razón como una función de h para varios ángulos mínimos Φ_i de elevación. Nótese que un satélite cercano a la órbita síncrona cubre alrededor del 40% de la superficie de la Tierra. Esta área de cobertura se decrementa con un incremento mínimo del ángulo de elevación.

Altura Km	Area Visible (%)		
	$\Phi_1=0^\circ$	$\Phi_2=7.5^\circ$	$\Phi_3=10^\circ$
1840	11.1	7.7	6.7
7360	26.9	21.3	19.8
14720	34.9	28.8	27.1
21120	36.8	32.5	30.7
29440	41.1	34.8	32.8
35680	42.4	36.1	34.0
38400	42.5	36.2	34.1

Tabla I.3 Porcentaje de la Superficie Terrestre de acuerdo al Ángulo de Elevación Mínimo Φ

El ancho de haz de ángulo planar Φ_b requerido por el satélite para producir un área de cobertura dada A_{cob} deberá satisfacer lo siguiente:

$$2\pi \left[1 - \cos\left(\frac{\Phi_b}{2}\right) \right] = \frac{A_{cob}}{h^2}$$

el cual, para ángulos pequeños, $\Phi_b \ll 1$, está dado aproximadamente por:

$$\Phi_b \approx \frac{d}{h}$$

donde d es el diámetro del área de cobertura. Nótese que para un ángulo de aproximadamente 8° es necesario para cubrir por ejemplo los estados continentales de los Estados Unidos (CONUS - *Continental United States*) desde las altitudes síncronas.

La línea de vista (z) entre un punto en la Tierra, una altura h y un ángulo Φ_l se obtiene como:

$$z = \left[(r_E \sin \Phi_l)^2 + 2r_E h + h^2 \right]^{1/2} - r_E \sin \Phi_l$$

Esto determina la longitud de propagación directa entre una estación y un satélite con una altura h y un ángulo de elevación Φ_l . Esta línea de vista determinará la pérdida de potencia por propagación total desde la estación terrena al satélite.

Además, el rango z determina el tiempo de propagación (retardo de tiempo) sobre la trayectoria. Por lo tanto esto toma aproximadamente 100 ms para transmitir hacia órbitas geoestacionarias. También, ya que la localización del satélite es imprecisa por aproximadamente ± 40 km., siempre estará presente un error de aproximadamente $\pm 133 \mu s$ estará siempre presente en una ruta de propagación geoestacionaria Tierra-satélite.

Si un satélite está en órbita a una altura h , éste pasará sobre un punto en la Tierra con un ángulo de elevación que excede a Φ_l por un período de tiempo

$$t_p = \left(\frac{2\Phi_E}{360^\circ} \right) \left(\frac{t_S}{1 \pm \frac{t_E}{t_S}} \right)$$

Donde t_s es el período orbital, t_E es el período de rotación de la Tierra (un día sideral). El signo \pm depende de si el satélite efectúa una órbita progresiva (misma dirección) o retrógrada (dirección opuesta). Para una órbita geoestacionaria progresiva $t_s = t_E$, y $t_p = \infty$. La última ecuación es importante para evaluar la cantidad de tiempo que una estación terrena tiene que comunicarse con un satélite orbitando sobre ésta.

3.2 Órbitas Inclinadas

Las órbitas inclinadas pueden proporcionar visibilidad a las latitudes altas del norte y sur, aunque requieren de estaciones terrenas que sigan continuamente al satélite.

Esto a veces necesita una operación de adquisición e involucra la donación de un espacio orbital a otro satélite nuevo. Además, las órbitas inclinadas normalmente requieren satélites múltiples, espaciados adecuadamente a lo largo de la órbita con el fin de proporcionar una cobertura continua a una estación terrena en particular. Los satélites en órbitas inclinadas poseen órbitas que son más elípticas que circulares. Como resultado, el satélite se mueve a una altura mayor durante algunas porciones de su órbita. La altura pico es conocida como *apogeo*, mientras que la altura mínima es llamada *perigeo*. El satélite tiene una velocidad menor durante la fase de apogeo que durante la de perigeo. Esto significa que el punto subsatelital se mueve más lento durante el apogeo, y más rápido mientras pasa a través del perigeo. Por esta razón una órbita inclinada se diseña de manera que el apogeo se coloque sobre la porción de la Tierra de mayor interés, proporcionando mayor visibilidad. Una órbita inclinada importante es la órbita *Molnya* utilizada por los satélites de la extinta Unión Soviética. La órbita está inclinada por 63° , y tiene un período de 12 hr con un apogeo de aproximadamente 40,000 km. sobre la porción norte de su órbita.

La red de satélites de posicionamiento global utiliza 24 satélites Navstar distribuidos sobre tres planos inclinados por 63° respecto al plano ecuatorial, y separados entre sí por 120° . Cada plano contiene ocho satélites espaciados en órbitas de forma circular de 12 hr a una altitud de aproximadamente 19,200 km. Los planos y órbitas han sido seleccionados para garantizar que al menos seis satélites estarán en la línea de vista desde cualquier punto de la Tierra en cualquier momento para proporcionar señales de navegación.

3.3 Órbita Geosíncrona

Si la altura de la órbita aumenta, entonces se reduce la velocidad satelital requerida, mientras que se incrementa el período de la órbita. A los satélites con alturas en el rango de los 160 a los 1600 kilómetros, se les conoce como *Orbitadores de Baja Altura* (LEO - Low Earth Orbiters) y rodean a la Tierra en pocas horas.

En 1945, Arthur C. Clarke sugirió en una de sus publicaciones la posibilidad de colocar satélites artificiales en una órbita tal que al observarlos desde un punto sobre la superficie de la Tierra parecería que no se moviesen, como si estuviesen colgados en el cielo. Los satélites no cambiarían aparentemente de posición y esto traería consigo grandes ventajas pues, tal como se verificaría años más tarde, su operación se simplificaría y el costo de los equipos terrestres necesarios para utilizarlos se reduciría, en relación con el uso de otras órbitas. Además, casi la totalidad del mundo habitado se podría intercomunicar por radio con sólo tres satélites colocados en esa órbita tan especial.

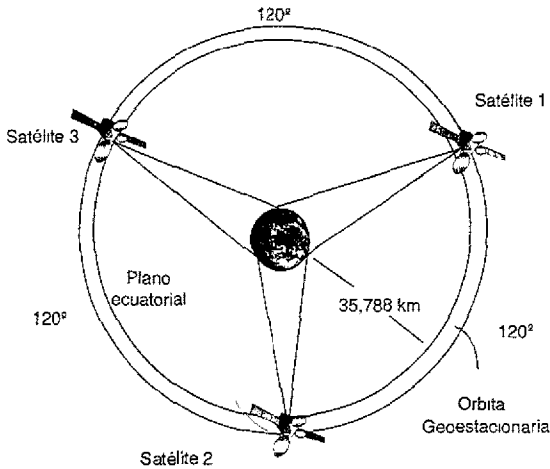


Fig. 1.5 Tres Satélites en la Órbita de Clarke para una Cobertura Global

La Tierra gira sobre su propio eje, completando una vuelta cada 24 horas; si se coloca a un satélite de tal forma que gire circularmente alrededor de ella en un plano imaginario que la atraviese por el círculo ecuatorial, y si el satélite también completa una vuelta en 24 horas, entonces, para un observador sobre un punto fijo de la Tierra, se produce la ilusión de que el satélite no se mueve.

Para poder crear un sistema tal debían cumplirse varios requisitos. En primer lugar, el satélite debía desplazarse en el mismo sentido de rotación que la Tierra; además, para que no perdiese altura poco a poco y completara una vuelta cada 24 horas, debía estar a aproximadamente 36000 km. de altura sobre el nivel del mar; para lograrlo, el satélite debía tener una velocidad constante de 3075 m/s, siguiendo una órbita circular alrededor de la Tierra.

En 1957, con el lanzamiento del Sputnik 1, y después de varias pruebas con algunos otros satélites, al fin se colocó en órbita el primer satélite geoestacionario del mundo, llamado SYNCOM. Poco más tarde, había un satélite Intelsat III sobre cada uno de los océanos principales (Atlántico, Pacífico e Índico), intercomunicando al mundo.

La órbita en cuestión recibe el nombre de órbita geoestacionaria, pero con frecuencia muchos autores e investigadores también se refiere a ella como el Cinturón de Clarke. En la actualidad, ésta es la órbita más congestionada alrededor de la Tierra; muchos propietarios de satélites, sino todos, quieren estar ahí por obvias razones de sencillez y bajo costo de operación. En ella se encuentran satélites de apariencia física y aplicaciones muy diversas: meteorológicos, militares, experimentales y de comunicaciones.

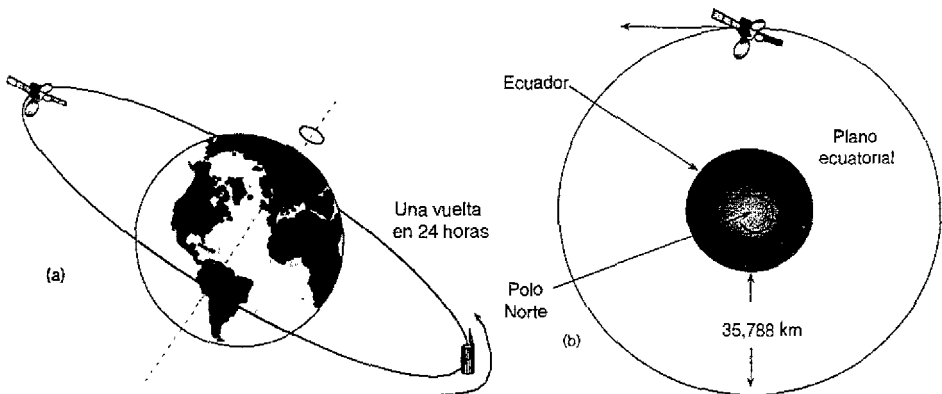


Fig. 1.6 Rotación de los Satélites Geoestacionarios. (a) vista lateral (b) vista superior

Los satélites colocados en órbitas síncronas pueden ser localizados por su posición de longitud estacionaria efectiva relativa a la Tierra. Estas posiciones pueden ser identificadas por las líneas de longitud al ecuador al cual cae el punto subsatelital. Si la tierra es vista desde arriba del Polo Norte, la

órbita síncrona aparecerá como un círculo en el plano ecuatorial a través del centro de la Tierra. Los puntos en este círculo se pueden identificar por sus ángulos longitudinales, con cero grados respecto al meridiano de Greenwich y ángulos definidos ya sea en la dirección este u oeste. El rango de ángulos desde aproximadamente 55° W hasta aproximadamente 160° W representan localidades favorables para el continente Norte Americano. Las posiciones orbitales para los satélites que operan a la misma frecuencia se han designado con espaciamentos mínimos de 2°.

Si un satélite en órbita geoestacionaria, y un punto subsatelital es proyectado hacia la Tierra de manera normal, el punto subsatelital permanecerá teóricamente en un punto fijo sobre el ecuador. Sin embargo, los satélites geoestacionarios pueden moverse debido a efectos gravitacionales de la Luna y el Sol provocando que la órbita se incline ligeramente. Después de un período de un año por ejemplo, estos movimientos, si no se corrigen, pueden producir una inclinación de varios grados. Este movimiento provocará que un punto subsatelital sobre la Tierra oscile en forma de 8. La dimensión del movimiento en forma de 8 crecerá proporcionalmente de acuerdo al crecimiento de la inclinación. Por esta razón se realizan ciertos ajustes de control de posición (*station keeping*) de manera ocasional para compensar los movimientos involuntarios.

Una desventaja de los satélites geoestacionarios es que los puntos en la Tierra más allá de los 80° de latitud no son visibles. Por otro lado, los satélites geoestacionarios requieren estaciones terrenas simples, sin sistemas de seguimiento, ya que estos satélites permanecen casi en el mismo punto en el cielo. Sin embargo, aún con acciones de control de posición un satélite geoestacionario puede tener una variación en su posición de aproximadamente $\pm 1^\circ$, simplemente debido a la elipticidad de la órbita. Esto significa que siempre se presentará a una incertidumbre en la localización real del satélite de alrededor ± 40 km.

4. Terminología de las Comunicaciones Vía Satélite

4.1. Enlace Satelital Ascendente

La figura 1.7 muestra un enlace ascendente simplificado tierra-satélite. La potencia de transmisión de las estaciones terrestres está dado generalmente por los amplificadores de alta potencia como son TWT y klystron. El amplificador y la antena de transmisión se localizan en la tierra. Podemos disponer

de potencias de salida del orden de 40 a 60 dBw a frecuencias superiores a la banda K usando un TWTA con cavidad acoplada ó un klystron. Esos niveles de potencia junto con las ganancias de la antena determinan la PIRE (Potencia Efectiva Radiada Isotrópicamente) para comunicaciones de enlaces ascendentes.

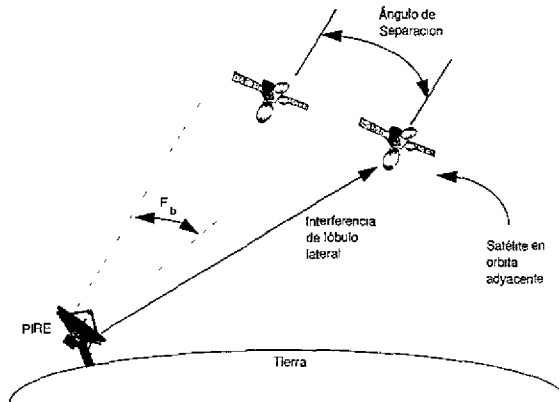


Fig. 1.7 Enlace Satelital Ascendente

El patrón de radiación establece el espaciamiento aceptable entre satélites, lo cual a su vez, determina el número de satélites que pueden ponerse simultáneamente en una órbita dada con una cantidad específica de interferencia de comunicación. Una vez que se ha fijado el HPBW (ancho del haz de media potencia), una frecuencia portadora mayor permitirá estaciones terrenas más pequeñas.

4.2. Enlace Satelital Descendente

Un enlace descendente, tiene la dificultad de que el amplificador de potencia y la antena transmisora se encuentran situadas en el espacio. Esto limita la eficiencia de los amplificadores de potencia, además de que los dispositivos ligeros con los que se cuenta en el satélite son dependientes de la frecuencia de portadora. La antena espacial, debe tener patrones de radiación que cumpla con el área de cobertura de la tierra. La ganancia de la antena de enlace descendente está dada por la altitud de la órbita. Usando bandas de frecuencia altas, necesitaremos antenas de un tamaño menor. Las antenas espaciales, que proveen de una área de cobertura máxima, se les llama antenas globales. Una vez que se establece el nivel de potencia y la ganancia de la antena, la potencia de

portadora recibida en la estación terrena, dependerá únicamente del factor G/T como en el caso ascendente.

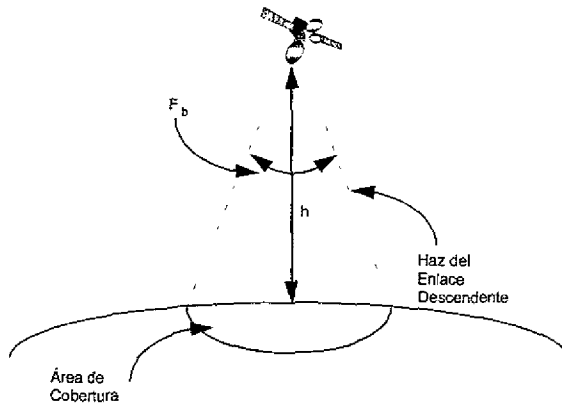


Fig. 1.8 Enlace Satelital Descendente

4.3. Enlace Intersatelital

Los sistemas satelitales, también requieren una comunicación entre dos satélites. Un enlace de paso, puede establecerse entre dos satélites síncronos, satélites de órbita baja ó satélites de espacio lejano. Un enlace de paso entre dos satélites orbitales, se le llama Enlace Intersatelital (ISL). Este tipo de enlace, tiene la dificultad de que ambos transmisor y receptor son espaciales lo cual limita la operación de ambos a trabajar con niveles de potencia y G/T^0 bajos.

Para compensar esto en enlaces distantes, es necesario incrementar la PIRE recurriendo a haces de transmisión delgados para una mayor concentración de potencia. Con el tamaño de la antena limitado, los haces delgados, usualmente se obtiene, recurriendo a frecuencias de portadora altas. Por esto, los enlaces intersatelitales se diseñan típicamente para banda K (20-30 GHz) ó EHF (60 GHz).

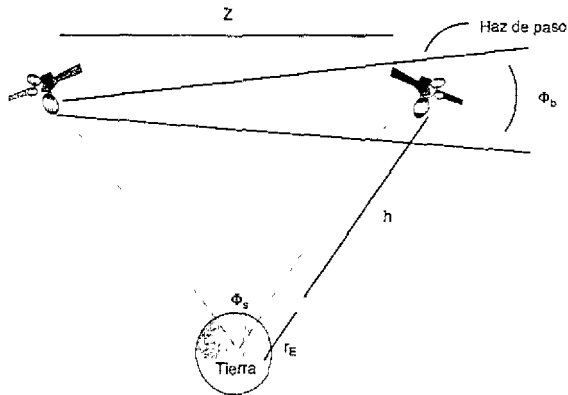


Fig. I.9 Enlace Intersatelital

4.4 Bandas de Frecuencia para Satélites

El espectro electromagnético de frecuencias es mostrado en la figura I.10 junto con las bandas de frecuencia designadas. Las frecuencias utilizadas para las comunicaciones vía satélite son seleccionadas a partir de las bandas que son más favorables en términos de eficiencias de potencia, distorsiones de propagación mínimas, y efectos reducidos de distorsión e interferencias. Estas condiciones de operación tienden a forzar la operación en regiones de frecuencias particulares que proporcionan la mejor relación entre estos factores. Desafortunadamente los sistemas terrestres (tierra a tierra) tienden a favorecer estas mismas frecuencias. Por lo tanto, debe existir cierto interés en lo que concierne a los efectos por interferencia entre los sistemas terrestres y satelitales. Además, el espacio en sí mismo es un dominio internacional, así como lo son el espacio aéreo internacional y los océanos, y el uso de satélites desde el espacio debe ser compartido y regulado sobre una base global. Por esta razón, las frecuencias a ser utilizadas por los satélites son establecidas a través de un organismo internacional conocido como la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU - *International Telecommunications Union*), con regulaciones difundidas y controladas por un subgrupo conocido como la Conferencia de Radio Administrativa Mundial (WARC - *World Administrative Radio Conference*). Un comité técnico consultivo internacional (CCIR) proporciona recomendaciones específicas sobre las frecuencias satelitales bajo consideración de la WARC. El objetivo básico de estas agencias es ubicar bandas de frecuencia particulares para diferentes tipos de servicios satelitales así como proporcionar regulaciones internacionales en las áreas de máximos niveles de

radiación desde el espacio, coordinación con los sistemas terrestres, y el uso de localidades satelitales específicas en una órbita dada. Junto con estos repartos y regulaciones, un país individual que opera su propio sistema de satélite doméstico, o quizá un consorcio de países operando un sistema de satélite internacional común como INTELSAT, puede realizar sus propias selecciones de frecuencias basadas en las intenciones de uso así como de los servicios satelitales deseados.

Las bandas de frecuencias ubicadas para propósitos específicos de comunicaciones se resumen en la tabla I.4, indicando el uso primario de estas bandas en los Estados Unidos. El uso de estas frecuencias ha sido dividido en aplicaciones militares, comerciales y científicas, con ubicaciones específicas para enlaces ascendentes y descendentes. Los servicios satelitales han sido designados como puntos fijos (entre estaciones terrenas localizadas en puntos fijos sobre la Tierra), difusión (transmisión simultánea a varias estaciones esparcidas sobre un área de gran cobertura), y móvil (vehículos terrestres, barcos y aviones). El enlace Intersatélite se refiere a enlaces entre satélites en órbita.

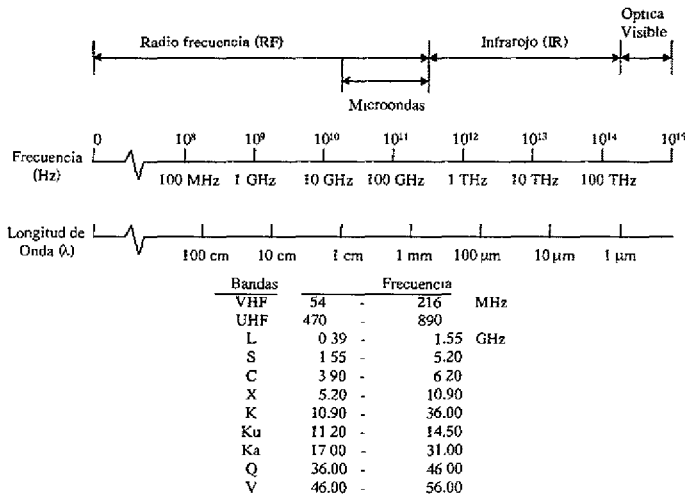


Fig. I. 10 Espectro Electromagnético de Frecuencias y Bandas Designadas

La mayoría de la tecnología satelital en los comienzos fue desarrollada para las bandas de UHF, C y X, las cuales requieren de una conversión mínima entre los sistemas existentes de microondas. Sin embargo, se han proyectado problemas muy críticos en estas áreas. El problema principal es que el

ancho de banda disponible en estas bandas es ahora inadecuado para alcanzar a las necesidades de tráfico presentes y futuras. Aún más, la interferencia entre varios sistemas satelitales independientes, y entre los sistemas satelitales y los de microondas terrestres existentes, se tornarán más críticos conforme se vayan poniendo en órbita satélites adicionales. La coordinación entre sistemas independientes será difícil de mantener. También se puede presentar una congestión orbital, seria en las órbitas más favorables para los sistemas que operan en banda C y banda X. Por estas razones existe un interés continuo en la extensión de la operación en bandas más altas como las bandas K y V. En la mayoría de los casos esto significa un desarrollo adicional en la tecnología y de la electrónica, una investigación extensa en la propagación atmosférica a estas frecuencias, pero la operación extendida tiene las ventajas de contar con más ancho de banda espectral, interferencia terrestre despreciable, y espaciamientos orbitales menores.

Una ventaja inmediata y obvia al utilizar una portadora a una frecuencia más grande es la habilidad de modular más información (anchos de banda mayores) sobre ella. Si suponemos que el ancho de banda que puede ser modulado sobre una portadora es un porcentaje fijo de esa frecuencia portadora, entonces una portadora operando a 30 GHz puede portar tranquilamente cinco veces la información de una portadora en banda C. Por lo tanto mientras que la banda C en los sistemas satelitales puede proporcionar anchos de banda de 500 MHz (alrededor del 10% de la frecuencia de la portadora), una frecuencia portadora en banda K podrá proyectar cerca de 2.5 GHz de ancho de banda modulado. Un incremento en esta proporción tendría un impacto significativo en la eficiencia de costo y capacidades de un enlace satelital.

Banda de Frecuencias	Frecuencia (GHz)		Localización en los Estados Unidos
	Enlace Ascendente	Enlace Descendente	
UHF	0.821 - 0.825 0.845 - 0.851	0.866 - 0.870 0.890 - 0.896	Servicios de Satélite Móvil
Banda L	1.631 - 1.634	1.530 - 1.533 1.575 1.227	Servicios Móviles GPS GPS
Banda S	2.110 - 2.120	2.290 - 2.300	Investigación espacial
Banda C	5.9 - 6.4	3.7 - 4.2	Fijo, punto a punto no militar
Banda X	7.145 - 7.190 7.9 - 8.4	8.40 - 8.45 7.25 - 7.75	Investigación espacial Solamente Militar
Banda Ku	14.0 - 14.5	11.2 - 12.2	Difusión, fijo no militar
Banda Ka	27 - 30	17 - 20	Sin asignar
	30 - 31	20 - 21	Sin asignar
	34.2 - 34.7	31.8 - 32.8	Investigación espacial
Banda Q	50 - 51	40 - 41 41 - 43	Punto fijo, no militar Difusión, no militar
Banda V		54 - 58 59 - 64	Intersatélite Intersatélite

Tabla I.4 Bandas de Frecuencias para Satélite

Actualmente, en el sistema INTELSAT se utilizan dos bandas de frecuencias para servicios VSAT: banda C y banda Ku. Para los sistemas de banda C, las antenas transmiten a 6 GHz y reciben en 4GHz; y para banda Ku la transmisión es a 14GHz y la recepción a 11-10 GHz.

Ninguna de las dos bandas es mejor que la otra de manera absoluta, por lo que los operadores de VSAT tienen que evaluar su caso en particular de acuerdo a sus necesidades. La tabla I.5, muestra las ventajas y las desventajas entre cada una de las bandas.

Banda Ku		Banda C	
Beneficios	Desventajas	Beneficios	Desventajas
permite hacer uso de antenas más pequeñas	señales susceptibles a atenuación por lluvia (6dB a 10dB)	señales poco susceptibles a atenuación por lluvia (0.4dB a 1dB)	necesita antenas un poco más grandes que las de Ku
mayor potencia disponible del transponder	no está disponible en todo el mundo	disponible a nivel mundial	mayor potencia disponible del transponder
	haces de cobertura delgados	haces más amplios y cobertura global	
menor interferencia terrestre			mayor interferencia terrestre

Tabla I.5 Banda Ku vs Banda C

Con un diseño adecuado se pueden minimizar el efecto de atenuación por lluvia en banda Ku, por lo que se puede alcanzar altas disponibilidades en ambas bandas. Sin embargo, la mayoría de los operadores prefiere usar la banda Ku ya que permite una inversión menor al usar antenas más pequeñas.

5. Sistemas de Satélites

5.1 Subsistemas de un Satélite de Comunicaciones

Un satélite es un sistema muy complejo y delicado, integrado por varios subsistemas; cada uno de ellos es igualmente importante, pues su probable falla podría causar la inutilidad parcial o total del conjunto. El satélite necesita energía eléctrica, disipar calor, corregir sus movimientos y mantenerse en equilibrio, ser capaz de regular su temperatura, ser resistente al medio ambiente en el que vive, y

desde luego poder comunicarse con la Tierra; sus subsistemas más importantes se pueden observar en la figura I.11 e indicados como:

Subsistema	Función
Antenas	Recibir y transmitir señales de radiofrecuencia.
Comunicaciones	Amplificar las señales y cambiar su frecuencia.
Energía Eléctrica	Suministrar electricidad con los niveles adecuados de voltaje y corriente.
Control Térmico	Regular la temperatura del conjunto.
Posición y Orientación	Determinar la posición y orientación.
Propulsión	Proporcionar incrementos de velocidad y pares para corregir la posición y orientación.
Rastreo, Telemetría y Comando	Permite conocer la operación y posición del satélite, así como enviarle órdenes para efectuar ajustes.
Propulsión	Alojar todos los equipos y darle rigidez al conjunto.

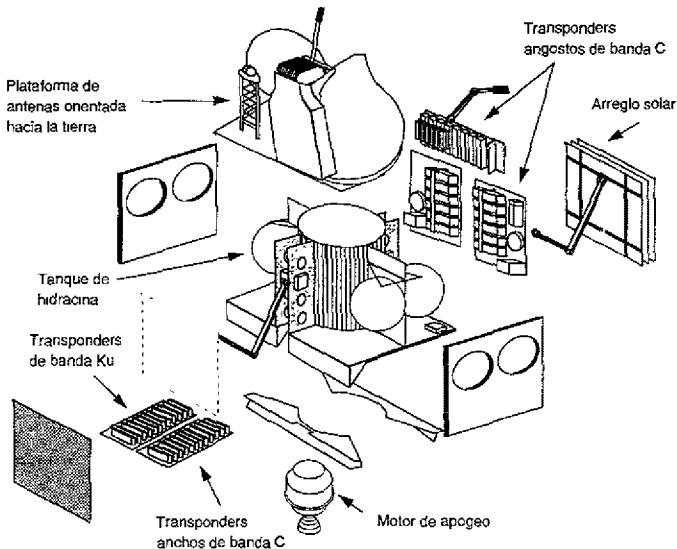


Fig. I.11 Estructura de un Satélite Spacenet

5.2 Subsistema de Comunicación

Transponders:

Los transponders son los elementos principales en la carga útil de un satélite de comunicaciones. El tipo de misión y de servicio son los factores generales determinante del diseño y características del mismo. De manera más específica los siguientes elementos son los que determinan el diseño:

Servicio

Telefonía, TV, terminales móviles, terminales personales

Frecuencia de Operación

Ancho de Banda

Misión

Tiempo de vida

Enlaces Intersatelitales

Tipo de órbita (zona de radiación)

Potencia de RF (energía disponible en el BUS)

Ciclo de Temperatura

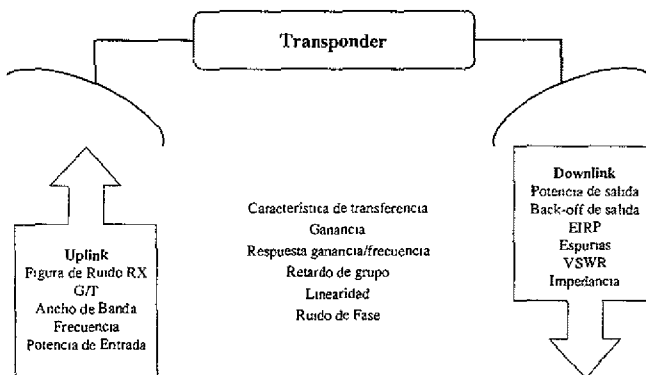


Fig. I.12 Elementos de un Cálculo de Enlace

De manera genérica las funciones de un transponder se pueden agrupar como sigue:

- ✓ Amplificación de bajo ruido para contrarrestar los efectos de las pérdida por espacio libre.
- ✓ Ganancia variable para compensar los diferentes niveles debidos a los diversos tipo de terminales.
- ✓ Minimizar la degradación en la relación señal a ruido.
- ✓ Cambio de frecuencia para aislar las señales de salida de las de entrada.
- ✓ Mantener la linealidad entre la salida y la entrada para minimizar la distorsión en fase y en amplitud.
- ✓ Procesar y redireccionar la señal, los canales o los datos: por medio de frecuencia, por medio de polarización, por medio de haces o por tiempo.

De acuerdo a las características anteriores se suele clasificar los transponders en cuatro grupos.

Los transponders transparentes fueron los primeros en utilizarse y son los más sencillos. Los hay lineales con una sola conversión de frecuencia, lineales de doble conversión con canalización a nivel de frecuencia intermedia, y los cruzados en los que las entradas y salidas de diferentes servicios (huellas, frecuencias) pueden conmutarse.

Los elementos básicos de este tipo de transponders se muestran en la figura 1.12. La sección de recepción normalmente incluye filtros de entrada para separar las señales que vienen de las antenas, amplificadores de bajo ruido, convertidores de frecuencia, mezcladores y osciladores locales para preparar la señal para la canalización.

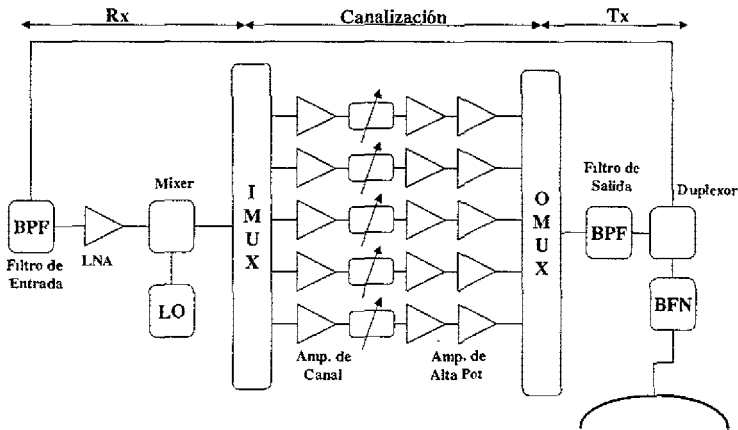


Fig. I.13 Configuración Básica de un Transponder

La canalización tiene como propósito disminuir la intermodulación y aumentar la confiabilidad ya que cada amplificador se puede sintonizar en una zona de operación lineal ya que operan en un ancho de banda menor. Esta etapa contiene además demultiplexores y conmutadores de canal.

La etapa de transmisión está constituida por los convertidores de frecuencia de bajada y los amplificadores de alta potencia con sus respectivos filtros.

Los transponders con conmutación en tiempo real son el siguiente paso. Estos son capaces de conmutar la salida en frecuencia, en polarización o en huellas.

Actualmente la investigación con transponders incluyen varias innovaciones encaminadas a crear sistemas con procesamiento de señal a bordo. Se pretende que estos transponders sean capaces de demodular las señales a nivel de frecuencia intermedia para poder procesar los datos para fines de conmutación a nivel de paquetes.

Capítulo Dos

REDES VSAT

1. Introducción a las Redes VSAT

Las redes VSAT (Very Small Aperture Terminal) proveen acceso económico a una gran variedad de servicios de comunicación para cubrir distintas necesidades específicas. Una Terminal VSAT es una micro-estación terrena que utiliza las más nuevas tecnologías en el campo de las comunicaciones por satélite para permitir a los usuarios el acceso a comunicaciones eficientes. Los servicios proporcionados por las VSATs son comparables a los proporcionados por las redes terrestres y sus gateways, con sólo una fracción del su costo. Una red VSAT típica consta del equipo de comunicaciones y una pequeña antena con un diámetro menor a los 3.5m.

Los usuarios de las redes VSAT cuentan con equipos que son prácticamente libres de mantenimiento y de bajo costo de instalación, por lo que el personal de instalaciones no requiere de mucha experiencia. Además, su operación es sencilla al igual que su reparación.

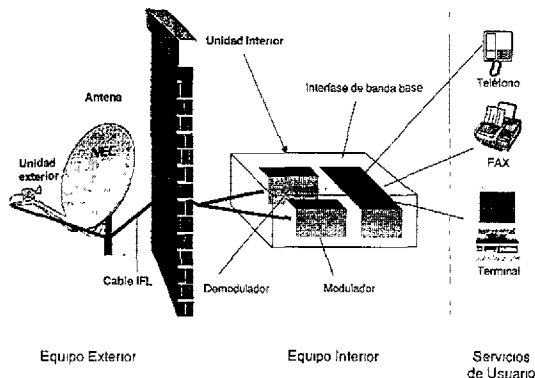


Fig. II. 1 Diagrama a Bloques de una Terminal VSAT

De acuerdo a la figura II.1, una típica instalación consta de una antena, de una unidad exterior (ODU), de un cable IFL (interfacility link) y de una unidad interior (IDU). La antena y el equipo ODU proporcionan la conversión de frecuencia y la amplificación para el enlace de y hacia el satélite. Es común nombrar al ODU como un transceptor porque realiza las funciones de un convertidor de subida (U/C), de un amplificador de potencia (SSPA), de un amplificador de bajo ruido (LNA), y de un convertidor de bajada (D/C). El IDU proporciona la interface de banda base que se requiere para conectarse con los equipos del usuario. Los requerimientos de potencia de cada VSAT son normalmente bajos, y en algunos casos puede ser proporcionada por celdas solares. Debido a su simplicidad, la instalación de una VSAT toma sólo unas cuantas horas normalmente, hasta dejarla en servicio.

Las terminales VSAT normalmente forman parte de una red, con una estación terrena mayor que realiza las funciones de un hub. En el Hub se encuentra el control y la operación de la red al igual que la configuración y la administración del tráfico. Además, el Hub, también se encarga de registrar la información concerniente al desempeño de cada elemento de la red; puede incluso encargarse de realizar funciones de tarificación. Normalmente el Hub se encuentra donde se origina o se termina la mayor parte del tráfico.

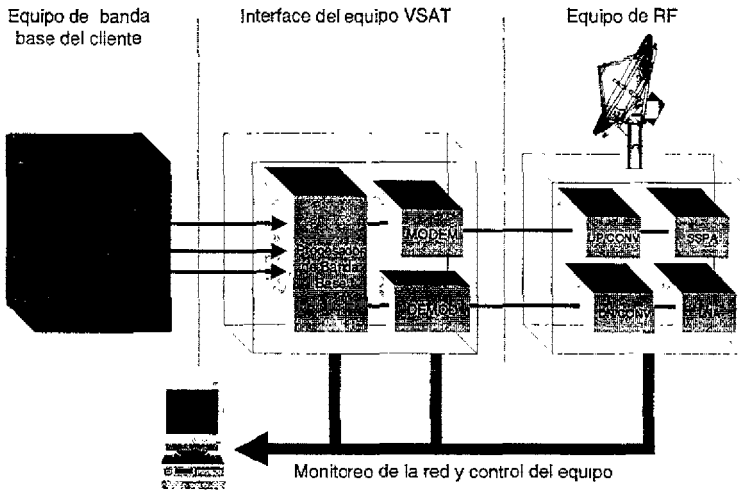


Fig. II. 2 Diagrama a Bloques de una Estación Hub

Un Hub consta del equipo de radiofrecuencia (RF), del equipo de interface de la red VSAT, y de las interfaces del usuario. El equipo de RF se compone de la antena, del LNA, del SSPA y de los convertidores de frecuencia. El equipo de RF puede encontrarse dentro de una sola unidad externa para reducir las pérdidas en la transmisión o puede encontrarse distribuido en varios módulos. En el caso que se requiera de alta confiabilidad, se pueden instalar configuraciones redundantes de cada subsistema.

El equipo de interface de la red VSAT controla y supervisa la operación de la red, y consta de moduladores, demoduladores y de los procesadores de banda base. El equipo de banda base del cliente se utiliza como interface entre la señal de la red satelital y la red terrestre.

Las redes VSAT ofrecen alta disponibilidad, flexibilidad de servicios, alta confiabilidad, alta capacidad de transporte de tráfico, y alta capacidad de ruteo. El desempeño de las redes VSAT sobrepasa el de las terrestres en términos de calidad y disponibilidad. Normalmente la disponibilidad sobrepasa el 99.9% para el enlace de satélite y de 99.6 a 99.7 para la red en general, con una tasa de error en bits menor a 1 en 10 millones ($BER = 1 \times 10^{-7}$).

1.1. Redes VSAT vs Redes Terrestres

Es común que los usuarios potenciales descarten la posibilidad de una red VSAT por miedo a que resulte ser un medio de comunicaciones muy caro. El siguiente ejemplo es útil para revisar los puntos a evaluar.

Una empresa tiene una red de datos a la cual están conectadas 150 oficinas remotas, cada una con una red LAN en conexión directa con la red LAN de las oficinas centrales. Las 150 oficinas remotas se encuentran esparcidas en todo el país de acuerdo a la figura II.3. Actualmente la conexión se hace a través de PSDN a una velocidad máxima de 19.2 kbit/s.

En la misma empresa se necesita mejorar los servicios aumentando la velocidad a 64 kbit/s, y es aquí donde se necesita evaluar las opciones de líneas dedicadas o enlaces por satélite.

Cuando se evalúa las líneas dedicadas, se encuentra los siguiente:

- ✓ El costo por línea dedicada se incrementa en la misma proporción que la distancia entre las oficinas centrales y las sucursales.
- ✓ El costo de instalación es directamente proporcional a la velocidad de transmisión.
- ✓ No está disponible la misma velocidad de transmisión en todas las sucursales debido a que la red terrestre no está distribuida uniformemente.
- ✓ Si alguna conexión falla, la reparación se tiene que delegar al proveedor de servicios.

Por otro lado, en el caso de una red VSAT se encontraron los siguientes factores:

- ✓ Los costos de largas distancias no aplican a la red VSAT.
- ✓ Cada VSAT tiene un costo fijo, independiente de la distancia.
- ✓ El equipo y los costos de instalación de las VSATs son más altos que las alternativas terrestres.
- ✓ Una red VSAT puede ser administrada de manera independiente de la red terrestre.

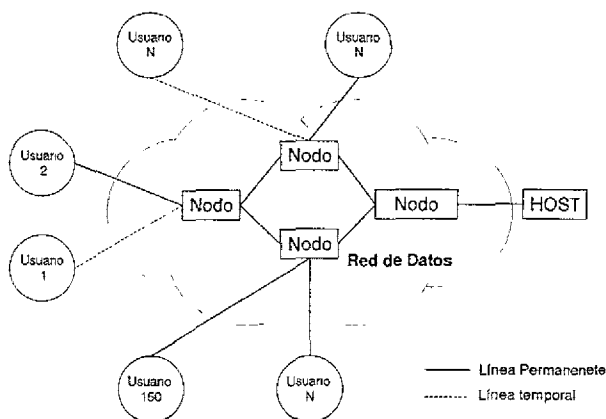


Fig. II. 3 Típica Red Terrestre

La empresa concluyó que en principio los costos de una red VSAT son menores a los de las líneas dedicadas o las conexiones temporales, y que después de recuperar el costo inicial, los costos de operación se reducen a sólo el pago por el espacio satelital y al personal de mantenimiento. Además de la disminución de costos una red VSAT agrega las siguientes ventajas:

- ✓ Control completo sobre toda la red de comunicaciones.
- ✓ No hay diferencias por las distintas distancias entre nodos.
- ✓ Mejor tiempo de respuesta.
- ✓ Mejor calidad de servicio y flexibilidad.
- ✓ Fallas menos frecuentes y de menor duración.
- ✓ Posibilidad de aumentar el tráfico sin costo extra.
- ✓ Instalación y mantenimiento sencillos.
- ✓ Costos fijos sin importar la distancia.

Los usuarios puede adecuar casi cualquier servicio con la certeza de que, a largo plazo, la red VSAT será más económica que la red terrestre.

1.2. Topología de las Redes VSAT

Hay tres tipos de topologías para redes VSAT: estrella, malla e híbrida. En una topología de estrella, cada estación VSAT transmite y recibe sólo del Hub. Sin embargo, esto no excluye que haya transmisión de información entre dos estaciones VSAT. En este caso la información pasa a través del Hub y es redirigida hacia la VSAT receptora con el consiguiente doble salto satelital. La mayoría de las redes VSAT utilizan una topología estrella debido a que la antena del Hub es mayor por lo que se optimiza el uso del espacio satelital y se minimiza el tamaño de las estaciones remotas. La principal desventaja es el retraso que hay, debido al doble salto satelital, en un enlace VSAT-VSAT.

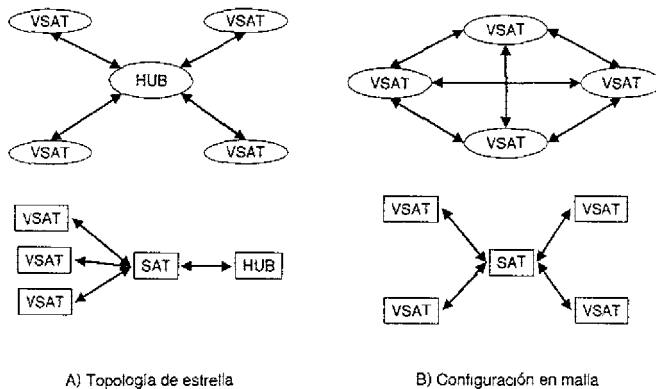


Fig. II. 4 Topologías de Redes VSAT

La configuración en malla permite que todas las estaciones VSAT se comuniquen entre sí directamente en un sólo salto satelital. Es posible que un Hub sea necesario para controlar la comunicación, pero puede no estar involucrado en la transmisión de datos. Algunas veces, una terminal VSAT cuenta con equipo de administración y de control por lo que no se necesita utilizar un HUB. Cada VSAT tiene que tener la suficiente potencia y sensibilidad a la recepción (G/T) para comunicarse con las otras VSATs. Por eso es que generalmente se requieren antenas mayores en redes malla que en redes estrella. Aplicaciones como voz, que son muy susceptibles al retraso, utilizan siempre redes en malla.

Una topología híbrida permite que algunas estaciones se conecten en malla y otras en estrella. Esta topología es adecuada cuando los requerimientos de transmisión son muy diferentes entre estaciones. De esta manera las terminales con mayor tráfico serán conectadas en malla para reducir el consumo de recursos satelitales, mientras el resto de la red se comunica en estrella.

2. Generalidades de las Aplicaciones de Redes VSAT

Sin importar si las VSATs son utilizadas para servicios domésticos, regionales o internacionales, éstas ofrecen una amplia variedad de soluciones a las diferentes necesidades de comunicación que un cliente puede presentar. Aunque normalmente se suele categorizar los servicios en dos grandes grupos: aplicaciones broadcast o simplex, y aplicaciones interactivas o dúplex.

Las aplicaciones de broadcast fueron las primeras en ser utilizadas ya que son las más sencillas de implementar. Desde una estación se transmiten datos, voz y video a todas las VSATs dentro de la zona de cobertura. En principio cualquier terminal es capaz de recibir la señal transmitida sin previa autorización, sin embargo, el propietario de la señal puede controlar el acceso para permitir que sólo un grupo de VSATs reciba la información. Este acceso normalmente se restringe con software y es llamado narrowcasting.

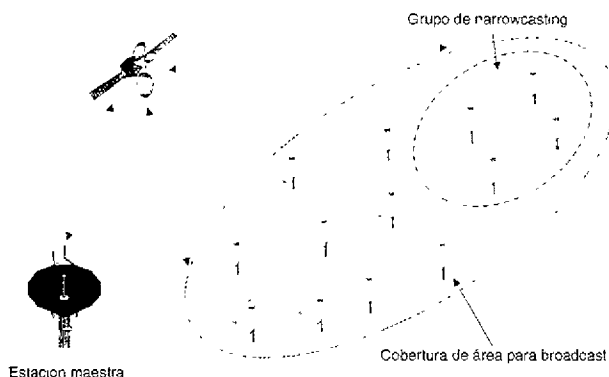


Fig. II. 5 Aplicaciones Broadcast y Narrowcast

Algunos ejemplos de aplicaciones broadcast son:

- ✓ Listas de precios, control de inventarios.
- ✓ Acciones, bonos.
- ✓ Boletines meteorológicos, boletines deportivos, noticias.
- ✓ Distribución de audio.
- ✓ Distribución de video para conferencias o entretenimiento.
- ✓ Distribución de Internet.

Es común que las aplicaciones broadcast utilicen un canal de retorno a través de la red telefónica. Por ejemplo, las compañías de televisión suelen utilizar el sistema de pago por evento para canales o programación especial. Los suscriptores ven la lista de la programación especial, y la solicitan con una llamada. La clave de acceso para ese usuario será transmitida al principio del programa solicitado.

La distribución de Internet usa un sistema similar para bajar información de los diferentes sitios. Los usuarios marcan al proveedor de Internet (ISP) por la red telefónica local para solicitar la información. Cuando se ha validado la solicitud, el ISP manda la información a través de un canal satelital de alta velocidad y el usuario la recibe con una terminal VSAT de sólo-recepción.

Las aplicaciones de Internet vía satélite benefician a los ISP al evitar la necesidad de líneas terrestres dedicadas. Además, es posible adjuntar el tráfico de Internet a las transmisiones de televisión digital existentes utilizando eficientemente la infraestructura existente.

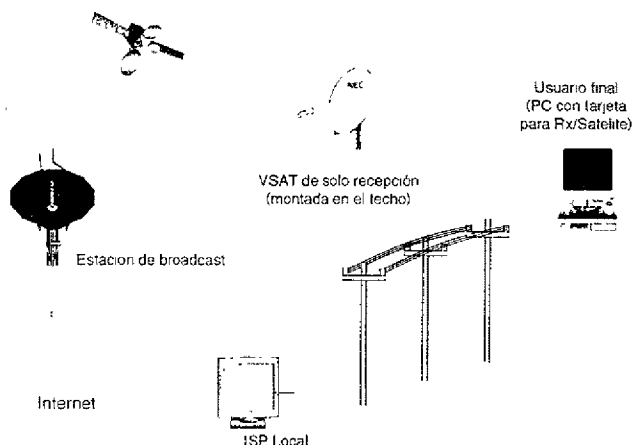


Fig. II. 6 Servicio de Internet con Retorno por Enlace Terrestre

Las aplicaciones interactivas permiten la comunicación dúplex por medio de una terminal VSAT. La portadora que va desde el Hub hacia las VSATs es llamada *outbound*, y la que va de las VSATs al Hub se denomina *inbound*. Las aplicaciones pueden agruparse en cuatro categorías: servicios de datos interactivos, servicios de voz interactivos, servicios de video interactivos, y servicios punto a punto de alta velocidad.

Los servicios de datos interactivos implican solicitudes de una terminal y respuestas de otra. Algunos ejemplos son:

- ✓ Transmisión de archivos para instituciones financieras, corredores de bolsa y bancos.
- ✓ Administración de los puntos de venta de los supermercados, tiendas de autoservicio, gasolineras, restaurantes de comida rápida en las cuales hay todo tipo de terminales de pago, incluyendo cajeros automáticos y transacciones de autorizaciones de crédito.
- ✓ Reservaciones y confirmaciones para líneas aéreas, hoteles, alquiler de autos y agencias de viajes.

- ✓ Recopilación de datos de puntos de monitoreo remoto de pozo petroleros, oleoductos, industrias eléctricas, etc.
- ✓ Procesamiento remoto y extensiones de LAN.

Algunos ejemplos de servicios de voz interactivos son:

- ✓ Servicios de voz para redes privadas y corporativas.
- ✓ Servicios de voz para extender el área de cobertura de la red telefónica pública hacia zonas rurales.

Una terminal VSAT es flexible en cuanto al número de canales de voz. Puede manejar solamente uno para niveles de tráfico muy bajos o puede manejar varias líneas y conectarlas a un PABX. Inclusive, una VSAT puede ser conectada a una estación base para extender los servicios usando la tecnología WLL.

La combinación de tecnologías VSAT y WLL puede extender el servicios telefónico básico a sitios donde otras tecnologías no son costeables. Por ejemplo, una VSAT equipada con 8 canales y una estación WLL puede proporcionar servicios a una población de 500 teléfonos. Éstos pueden ser teléfonos inalámbricos de pago con celdas solares o teléfonos fijos para usuarios domésticos o de negocios. El radio de cobertura para una unidad WLL está entre y 19 y 32km. De esta manera la telefonía rural puede proveerse con un costo razonable por línea.

Los servicios de video interactivos usan compresiones desde 64kbit/s dependiendo de las necesidades particulares de cada aplicación. De cualquier manera, el mejor punto de equilibrio entre calidad y efectividad en costos se alcanza a 384 kbit/s. Los usuarios de VSATs normalmente utilizan una portadora de outbound a 384 kbit/s y un canal de inbound a 64 kbit/s, con la evidente calidad en el outbound y la reducción en costos en el inbound. Sin embargo, muchos clientes prefieren servicios simétricos con ambas portadoras a 348 kbit/s.

Por razones de disponibilidad y seguridad los clientes pueden optar por el uso de VSATs, en lugar de conexiones terrestres, para servicios punto a punto de alta velocidad. Este tipo de aplicación normalmente tiene un pequeño número de VSATs, y manejan velocidades hasta de 2.048 kbit/s (E1) en enlaces dúplex.

2.1. Beneficios de las Redes VSAT

Sin importar el tipo y necesidad de cada aplicación en particular, los beneficios de las redes VSAT se pueden resumir de la siguiente manera:

- ✓ Amplia variedad de aplicaciones de datos, video y voz.
- ✓ Tecnología robusta y probada en campo.
- ✓ Rapidez de implementación.
- ✓ Acceso rápido y directo a servicios de telecomunicaciones.
- ✓ Eliminación del problema de conexión de última milla.
- ✓ Alta confiabilidad y facilidad en mantenimiento.

Capítulo Tres

OPERACIÓN DEL PROTOCOLO TDMA

Al diseñar una red VSAT se deben considerar tres diferentes niveles de protocolos: los protocolos de acceso al satélite, los protocolos de acceso a la red satelital, y los protocolos de datos de los usuarios.

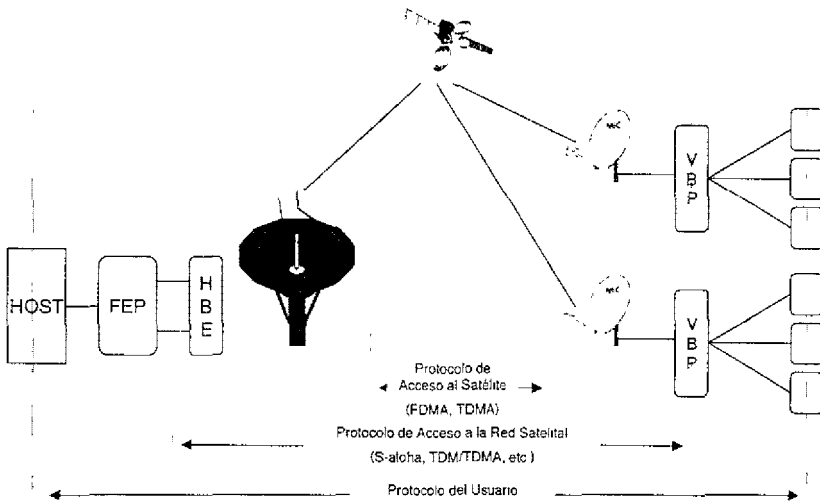


Fig. III.1 Diferentes Niveles de Protocolos en un Red VSAT

El desempeño de una red está directamente relacionado con los protocolos usados, por lo que un buen diseño utiliza protocolos que permiten alcanzar el máximo nivel de desempeño, de acuerdo a las aplicaciones específicas, al tiempo que minimiza el ancho de banda requerido en el satélite.

Un protocolo de acceso al satélite define la manera en que diferentes VSATs comparten el mismo ancho de banda. Sólo hay tres técnicas para el ancho de banda entre múltiples usuarios: Acceso

Múltiple por División de Tiempo (TDMA), Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA), y Acceso Múltiple por División de Código (CDMA).

1. Protocolos de Acceso al Satélite

La técnica más sencilla es la de FDMA, permite compartir la capacidad satelital por medio del uso de diferentes frecuencias asignadas una a cada portadora. De acuerdo a la figura III.2, las VSATs comparten la misma capacidad satelital al transmitir sus portadoras en diferentes frecuencias. Las portadoras son independientes entre sí, por lo que no transmiten con la misma potencia o con el mismo ancho de banda.

La segunda técnica de acceso permite que los usuarios tengan acceso a la capacidad satelital arrendada en una modalidad de tiempo compartido. Es decir, cada VSAT transmite su información en ráfagas en intervalos de tiempo predeterminados. Una vez que el intervalo asignado a la ráfaga se termina, la VSAT deja de transmitir para que alguna otra VSAT pueda transmitir. Como se observa en la figura III.2, el ancho de banda y la potencia están asignados a una sola VSAT en un intervalo de tiempo determinado.

En el sistema CDMA, todas las VSATs transmiten simultáneamente en la misma frecuencia, con el mismo ancho de banda, y la misma potencia. Lo que permite distinguir una señal de otra es la codificación de la señal original por medio de una secuencia pseudo-aleatoria que expande la señal sobre un ancho de banda mayor. Para reconstruir la señal original, el receptor realiza una correlación de la señal de entrada con una copia de la secuencia pseudo-aleatoria que fue usada para su codificación.

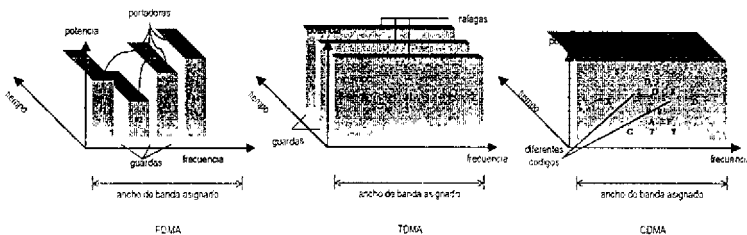


Fig. III.2 Técnicas de Acceso al Satélite

2. Protocolos de Acceso a la Red Satelital

Los protocolos de acceso a la red satelital normalmente combinan dos técnicas de acceso al satélite y algún tipo de control de tráfico. La mayoría de las terminales VSAT sólo transmiten una capacidad moderada de información por lo que es ineficiente la asignación permanente de la capacidad satelital. Al utilizar un protocolo de acceso a la red, la eficiencia aumenta. Estos protocolos asignan la capacidad a alguna terminal en particular de acuerdo al tráfico que presenta. Normalmente, la capacidad se solicita por la VSAT y es asignada por el controlador de la red en el Hub, ya sea por demanda, aleatoriamente o permanentemente.

En un protocolo de asignación por demanda, la VSAT solicita dinámicamente, antes de transmitir al Hub, que le asigne cierta capacidad, ya sea ranuras de tiempo o portadoras. Este proceso implica una respuesta inicial más lenta pero es muy eficiente al ser utilizado para transmisiones de grandes bloques de datos.

Cuando una VSAT utiliza un protocolo de asignación aleatoria, ésta transmite su información al momento que la recibe por alguno de sus puertos de datos. Esta modalidad ofrece un tiempo de respuesta muy corto, pero limita la capacidad de transmisión de las portadoras para evitar sobrecargarla.

En un protocolo de asignación permanente, las terminales VSAT tienen acceso permanente a una pequeña porción de la capacidad satelital. En este caso, la velocidad de la portadora es la única limitante para el tráfico que puede transmitir. Sin embargo, la capacidad es desperdiciada cuando la portadora no es usada por la VSAT.

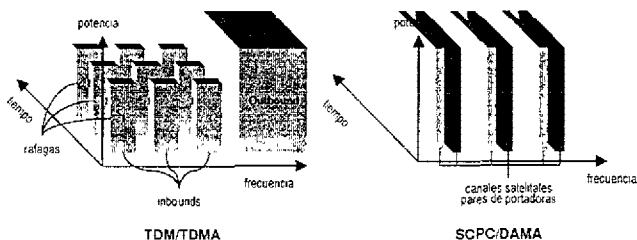


Fig. III.3 Protocolos de Acceso a la Red Satelital

Los protocolos de acceso a la red se pueden clasificar genéricamente en dos grupos que utilizan una combinación de las técnicas de asignación por demanda, aleatoria y permanente. Estos métodos son el TDM/TDMA (Multiplexaje por División de Tiempo/Acceso Múltiple por División de Tiempo) y el SCPC/DAMA (Canal Único por Portadora/Acceso). EL TDM/TDMA usa una portadora TDM continua para el tráfico de outbound dirigido del Hub hacia las VSATs. La información para las diferentes VSATs se multiplexa en la misma portadora. Múltiples portadoras de outbound pueden ser utilizadas para aumentar la capacidad de la red.

Las VSATs utilizan el método de acceso TDMA para compartir las portadoras de inbound, dirigidas al Hub.

El sistema SCPC/DAMA transmite un canal único por portadora par transportar la información. Cuando existe la necesidad de transmitir información, las portadoras se asignan por pares, uno del Hub a la VSAT y otro de la VSAT al Hub.

Ambos métodos pueden transmitir voz y datos con diferentes niveles de servicio. Ambos pueden operar en modo de asignación permanente o por demanda, pero solo el TDM/TDMA permite acceder aleatoriamente.

2.1. Redes TDM/TDMA

Los protocolos TDM/TDMA son muy eficientes y son comúnmente utilizados para aplicaciones de datos interactivos. Los datos de usuario deben de ser empaquetados antes de que puedan ser transportados con este protocolo. Cada paquete contiene una dirección que identifica a la terminal VSAT dentro de un dominio. Un receptor, ya sea una VSAT o el Hub, confirma la recepción de cualquier paquete. Si el ruido, una colisión o algún otro problema ocurre, el paquete no llegará a su destino. En este caso, el receptor no mandará un reconocimiento (ACK), y se tendrá que retransmitir el mismo paquete después de un retardo aleatorio. El mecanismo de reconocimiento asegura la adecuada entrega de cada paquete y simplifica el transporte de datos.

El enlace de outbound es una sola portadora y está constituida por paquetes multiplexados destinados a las diferentes terminales dentro de la red. El multiplexaje se lleva a cabo por el FEP

(front-end processor) que se conecta al host del usuario. Cada VSAT escucha toda la información encaminada a todos los usuarios, sin embargo, sólo decodifica aquellos paquetes que contienen información de control o información de usuario destinada a sus interfaces terrestres.

Dependiendo del tamaño de la red, se necesitan una o varias portadoras de inbound. Cada portadora de inbound lleva información de las VSATs hacia el Hub. Si una VSAT necesita comunicarse con otra, está necesita transmitir la Hub y este a su vez lo retransmitirá a la VSAT destino con el consecuente doble salto satelital.

2.1.1. Protocolos de Acceso a la Portadoras de Inbound

En una red TDM/TDMA los protocolos de acceso sólo se implementan en el enlace de inbound, se conocen normalmente como protocolos aleatorios o de contención. En un protocolo aleatorio no existe un controlador que determine que VSAT debe transmitir. Cada VSAT transmite sus datos en paquetes en intervalos aleatorios y compite por la capacidad de la portadora de inbound con las demás estaciones. Los protocolos de contención más comunes son: ALOHA, ALOHA ranurado, ALOHA con rechazo selectivo, y asignación por demanda con reservación.

2.1.1.1. ALOHA

El primer método de contención fue el ALOHA y opera de la siguiente manera. Cuando se requiere enviar información simplemente se crean los paquetes correspondientes y se transmiten. La VSAT espera por un reconocimiento de parte del Hub. Si no hay contratiempo, el reconocimiento debe de recibirse dentro del tiempo de un par de saltos satelitales. De cualquier manera, si alguna otra VSAT transmite su paquete al mismo tiempo y causa una colisión, el Hub ignorará ambos paquetes y no mandará reconocimientos. Cuando la VSAT no recibe el reconocimiento, intenta retransmitir el paquete después de esperar un tiempo aleatorio. Después de un número predeterminado de intentos fallidos la VSAT informará a la terminal de datos que el canal de datos está fuera de servicio.

Una ventaja del método Aloha es la repuesta rápida siempre y cuando el canal compartido este operando a nivel de throughput menores de 18%. El costo de esa rápida respuesta y de la simplicidad

de operación es precisamente ese bajo nivel de throughput. Si el tráfico ofrecido a la red se incrementa más allá del 18%, el throughput real se decrementa por las colisiones de paquetes, que a su vez se refleja en un tiempo de respuesta degradado.

2.1.1.2. ALOHA Ranurado

El método ALOHA se mejora en términos de eficiencia y reducción de la probabilidad de colisiones si la portadora de inbound se divide en ranuras de tiempo (S-Aloha). Cada VSAT reconstruye las ranuras de tiempo al reconstruir la información de reloj que le es enviada dentro de la portadora de outbound, así cada estación se sincroniza con el reloj maestro del Hub. La sincronización no implica que las VSATs transmitan su información de manera cíclica, sino que simplemente define los intervalos permitidos para transmitir. De esta manera cada VSAT tiene que crear paquetes de tamaño fijo. La VSAT empezará a transmitir sólo al principio de una ranura de tiempo. El DTE manda su información a la VSAT. La VSAT ensambla los paquetes para luego almacenarlos en un buffer hasta que comience la próxima ranura. Con la inserción de ranuras se reducen las posibilidades de colisión y se lleva el throughput hasta aproximadamente 36%.

2.1.1.3. ALOHA con Rechazo Selectivo

El sistema Aloha con rechazo selectivo (SREJ- Aloha) no utiliza ranuras por lo que no requiere de sincronización, sin embargo, alcanza casi el mismo nivel de throughput que el S-Aloha. En este método se subdividen los paquetes de tal manera que cada subpaquete tiene su propio encabezado que permite manejarlo independientemente. El protocolo hace uso de hecho que la mayoría de las colisiones en sistemas asíncronos ocurren solo en una parte del total del paquete, de esta manera sólo los subpaquetes que colisionan son los que se retransmiten. El throughput que se alcanza con este método se encuentra alrededor del 30% y trabaja bien con paquetes de diferentes tamaños.

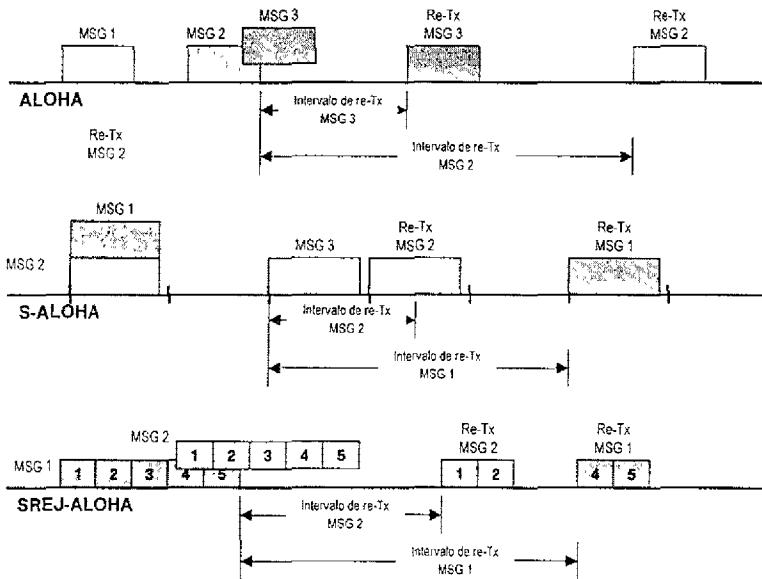


Fig. III.4 Operación de los Protocolos de Acceso Múltiple

2.1.1.4. Asignación por Demanda con Reservación

El método de asignación por demanda con reservación es más sofisticado que los anteriores y emplea dos niveles de acceso dependiendo del tamaño de los paquetes. Cuando la información del DTE hacia la VSAT cabe en un paquete que se ajusta a una sola ranura, la red opera en su primer nivel como S-alo-ha. En el segundo nivel, cuando la información del DTE es mayor, la VSAT prepara un paquete que contiene un pequeño campo de información en el cual solicita se le reserve cierta capacidad. La VSAT transmite el paquete hacia el Hub por medio de S-alo-ha. Si el mensaje llega al Hub, este le asignará varias ranuras a la VSAT en cuestión. El Hub informa a todas las VSATs de la red acerca de las ranuras reservadas con lo cual se evita que esa capacidad sea usada por otras terminales en ese período. De esta manera se le permite a la VSAT una transmisión libre de colisiones. Con este método se logra un excelente balance entre tiempo de respuesta y throughput, aun en caso de alto tráfico.

Por ejemplo, si una portadora de inbound opera a 128 kbit/s, entonces un grupo de VSAT que utilicen esa portadora podrían tener una capacidad permanente asignada de 2.4 kbit/s. A cada VSAT se le asigna una ranura de tiempo para transmitir y operar en modo TDMA. Esta capacidad permanentemente asignada mejora el desempeño de la red al mejorar la eficiencia de la portadora y el tiempo de respuesta. Por otro lado, el Hub reserva cierta capacidad para acceso en modo S-aloha. Esta capacidad sirve además como buffer en caso de que una VSAT requiera una mayor capacidad de la que tiene asignada. Estos ajustes mejoran la eficiencia al minimizar la posibilidad de colisiones. En el caso que un usuario sólo tenga aplicaciones interactivas, la capacidad permanentemente asignada será suficiente. De cualquier manera, si en algún momento dado los requerimientos de transmisión aumentan, la VSAT puede solicitar una capacidad mayor. El Hub puede asignarle parte de la capacidad que estaba reservada para s-aloha. Este esquema garantiza una respuesta rápida y un throughput alto.

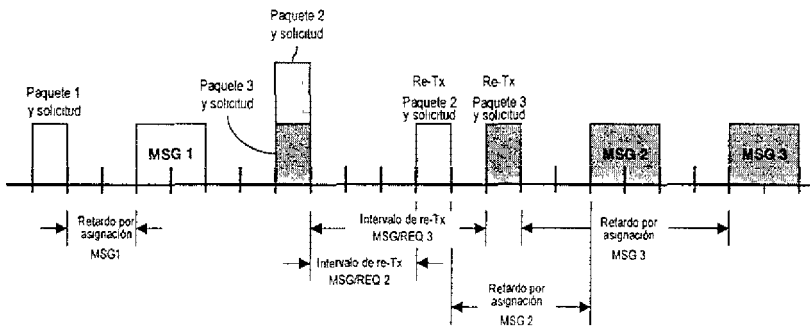


Fig. III.5 Operación en Modo de Asignación por Demanda con Reservación

2.1.1.5. Comparación de Desempeño

Los factores más importantes para seleccionar un protocolo de acceso son el tiempo de respuesta y throughput. Las redes modernas incorporan todos los protocolos mostrados para asegurar que la técnica más adecuada está disponible para cada usuario. Estas características permiten que la red opere con diversos grupos cerrados de usuarios (CUG), en los que cada grupo tiene una aplicación y protocolo diferente sin que se interfiera con el resto de la red. La tabla III.1 presenta un resumen del desempeño de los cuatro protocolos mencionados.

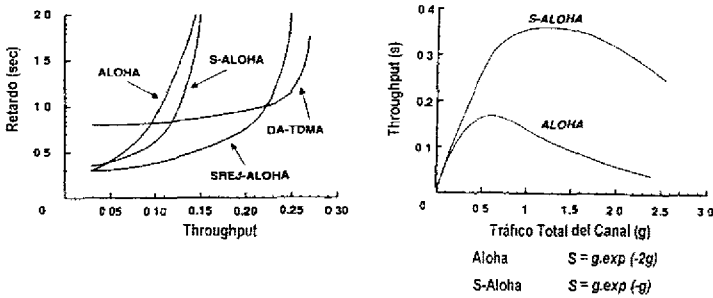


Fig. III.6 Comparación de la Eficiencia de los Protocolos de Acceso

Técnica	Max. Throughput	Retardo Típico	Aplicación	Comentarios
Aloha	13 - 18%	< 0.5sec	mensajes de tamaño variable	No se requiere de sincronía
S-aloha	25 - 36%	< 0.5sec	mensajes de tamaño fijo	
SREJ-aloha	20 - 30%	< 0.5sec	mensajes de tamaño variable	Capacidad semejante a S-Aloha
DA-TDMA	60 - 80%	< 2.0 sec	mensajes de tamaño variable	atractivo especialmente para mensajes largos (voz, archivos batch)

Tabla III.1 Comparación del Desempeño de los Protocolos de Acceso

2.2. Redes SCPC/DAMA

El método de Acceso Múltiple de Asignación por Demanda es un protocolo que utiliza un par de portadoras en modo SCPC para establecer un canal de comunicación. Estas redes son principalmente usadas para circuitos de voz y están compuestas por tres bloques principales.

- ✓ Sistema de Control y Administración de la Red (SNMS).
- ✓ Terminal de tráfico en el Hub.
- ✓ Terminal de tráfico en la VSAT.

El SNMS es el responsable de controlar las operaciones de la red, es decir, de asignar los recursos satelitales para cada circuito, descargar la configuración de los canales a través de los canales de control, y registrar las llamadas para su facturación.

El proceso para manejar llamadas es el siguiente:

Cuando un canal de voz requiere de un circuito, al tomar una línea, la VSAT informa al Hub sobre su identificador y el número marcado para que el controlador primario de DAMA (PDC) pueda identificar el origen y el destino de la llamada. Si los circuitos están ocupados, el PDC informa a la VSAT solicitante al producir un tono de ocupado. Si el destino no está ocupado, entonces el PDC le proporciona a ambas estaciones las frecuencias de sus portadoras para que sintonicen sus frecuencias de recepción y de transmisión y pueda iniciarse la comunicación.

Los números marcados son enviados a través del circuito satelital hacia la red terrestre (PSTN). Cuando se termina la llamada el PDC es informado y las portadoras son apagadas y los canales están de nuevo disponibles para alguna nueva petición de cualquier VSAT.

Una red DAMA puede operar con topología estrella o de malla. Una vez que la conexión se establece, la información se transmite sin la intervención del PDC. Todos los canales de DAMA de una estación comparten el mismo equipo de radiofrecuencia y la misma antena.

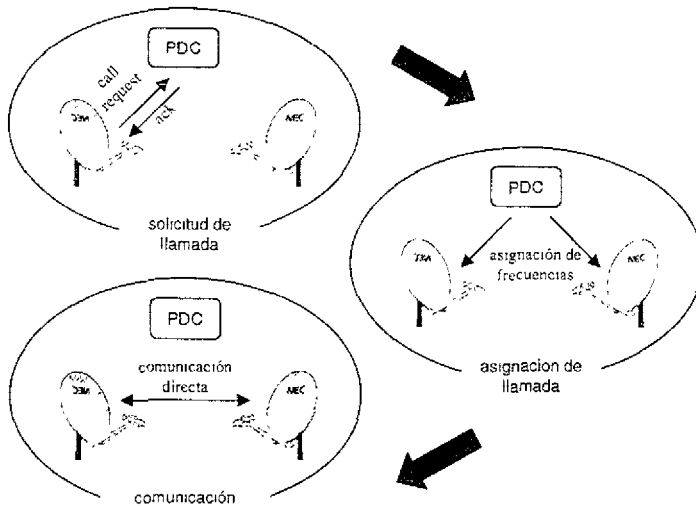


Fig. III.7 Operación del Protocolo SCPC/DAMA

Para minimizar el ancho de banda requerido, los sistemas DAMA suelen utilizar algoritmos de compresión de voz de baja velocidad (4.8 a 9.6Kbit/s) que mantienen una buena calidad de voz al tiempo que reducen los requerimientos de espacio satelital.

Como facilidad adicional, algunos sistemas DAMA emplean la activación por voz (VOX) que consiste en apagar las portadoras durante las pausas en una conversación. La activación reduce la potencia requerida del satélite. En un grupo de 100 canales o más, la reducción neta puede representar hasta 2.2 dB.

2.3. Implementación de Protocolos de Redes VSAT

Para implantar un protocolo de VSAT para transmisión de datos se requiere considerar al menos tres niveles: el kernell de la red, los gateways, y las interfaces del usuario. El kernell está constituido por el protocolo de acceso a la red, que asegura el acceso al satélite y la entrega adecuada de la información al tiempo que implementa funciones de control de congestión y administración.

El protocolo del gateway de comunicaciones ofrece la interface entre el protocolo del usuario y el kernell de la red. Opera como un ensamblador/desensamblador de paquetes (PAD). Sus funciones incluyen: el direccionamiento de los paquetes, ruteo, conmutación, y control de circuitos virtuales y de flujo. Las funciones de PAD se aplican a la información transportada en el kernell.

La interface del usuario emula los protocolos del usuario de manera local. En teoría un host del usuario puede evitar la interface del usuario y las funciones PAD, para llegar directamente al kernell. Sin embargo, en la práctica el desempeño de la red se ve degradado debido al retardo satelital inherente. por eso es preferible terminar los protocolos del usuario de manera local y utilizar las ventajas de las funciones PAD.

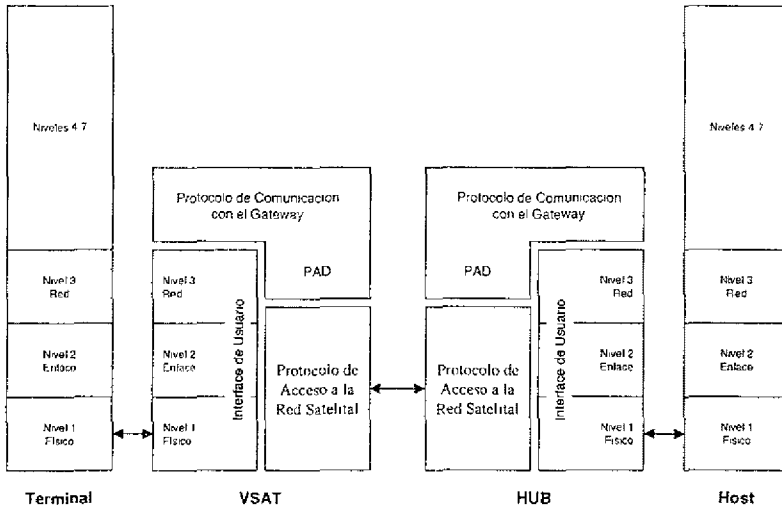


Fig. III.8 Protocolos de Redes VSAT

3. Protocolos del Usuario

Las redes VSAT normalmente reemplazan las redes terrestres de datos existentes, y conectan los Host con las terminales de datos vía satélite. Una red terrestre está normalmente basada en circuitos con bajos retardos por que se hace transparente al protocolo del Host del usuario. Algunos de los protocolos más comunes son: SNA/SDLC, X.25, SDLC, BISYNC, ASYNC, FRAME RELAY, o TCP/IP. Las redes VSAT tienen en cambio un retardo considerable por lo que deben utilizar protocolos optimizados para este ambiente. De cualquier manera las redes VSAT deben mantener la transparencia con los protocolos del usuario.

Esta transparencia se logra al terminar los protocolos del usuario de manera local antes de que entre en el enlace satelital. El enlace satelital convierte los datos del cliente a un protocolo satelital eficiente que asegura su entrega con un mínimo retardo.

Los sistemas operan en general de la siguiente manera:

- I. Si la terminal de datos # 123 en la oficina centrales manda información a la terminal # 456 en una oficina remota.
- II. El Host necesita rutear el paquete desde la terminal #123 hacia el FEP hacia donde reside virtualmente la terminal #456.
- III. El FEP recibe la información y envía un reconocimiento al Host y este a la terminal #123, terminado de esta manera el protocolo terrestre.
- IV. El FEP toma la información y la ensambla o da formato de acuerdo a su propio protocolo satelital.
- V. Cuando el paquete está listo la dirección del destino se le añade.
- VI. El protocolo satelital transporta los paquetes a través de la portadora de outbound y asegura su integridad y entrega adecuada.
- VII. Todas la VSATs escuchan la información de los paquetes de la portadora de outbound. Cuando una de ellas detecta un paquete que contenga su dirección, enviará un reconocimiento. el IDU se encarga de hacer llegar el reconocimiento al Hub. Este es un paquete pequeño que contiene el identificador del paquete recibido y es enviado a través de la portadora de inbound.
- VIII. El Hub, al recibir el reconocimiento, borra la información de su buffer.
- IX. La VSAT desensambla el paquete terminado el protocolo satelital.
- X. El IDU emula el protocolo del usuario para entregar la información a la terminal #456 en el protocolo esperado.

El protocolo satelital, en la mayoría de los casos es propietario del fabricante, por lo tanto, la red VSAT es capaz de emular localmente todos los protocolos del usuario sin necesidad de efectuar ninguna configuración al equipo existente ya que las tarjetas de interface normalmente llevan a cabo el procesamiento por medio de software. Por ello, sólo es necesario un cambio o actualización de software para manejar diferentes protocolos.

La topología de estrella de una red VSAT no limita la conectividad. Si un servicio requiere de conectividad en malla, el Hub puede implementar una malla virtual para rutear el tráfico de una VSAT a otra usando un doble salto satelital. En este caso, para minimizar el retardo, el FEP no

desensamblará los paquetes pero si los ruteará a su destino final. La VSAT destino será la encargada de desensamblar los paquetes satelitales y entregar en el protocolo del usuario.

4. Método AAA/TDMA

El método AAA/TDMA con asignación adaptiva (*Advanced Time Division Multiplexing-Adaptive Assignment / Time Division Multiple Access*), ha sido desarrollado (por NEC) específicamente para las redes VSAT. Está diseñado para soportar transferencia de datos de los tipos interactivo y lote, así como canales de voz por paquetes. Trabaja básicamente de la misma manera que el método TDMA con acceso aleatorio (*Random Access - RA/TDMA*) llamado también ALOHA ranurado para el caso de datos interactivos. Por lo tanto se pueden lograr retardos mínimos en el tiempo de transmisión. Al mismo tiempo, utiliza un método que es similar al TDMA con asignación por demanda (*Demand Assignment - DA/TDMA*) para las aplicaciones tipo lote, de manera que se puede lograr una alta eficiencia del canal contra tiempo de respuesta (*throughput*) para transferencia de datos grandes. De esta forma se obtiene una coexistencia de ambas aplicaciones, interactiva y lote, sin sacrificar las características de cada uno de estos métodos de acceso múltiple.

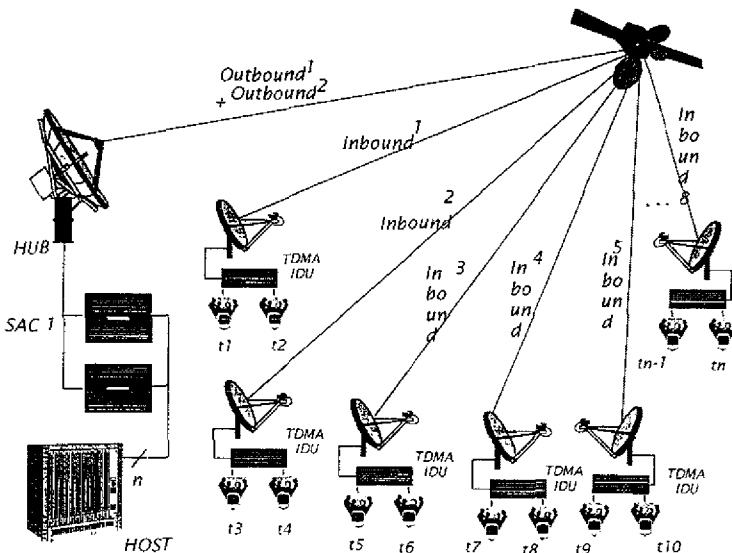


Fig.-III.9 Implementación de una Red TDM/TDMA

El AAA/TDMA obtiene una utilización eficiente de los recursos del transponder para redes corporativas. Sin embargo, en los casos en los que sea conveniente, la red NEXTAR se puede configurar para utilizar el modo TDMA con asignación permanente (*Permanent Assignment - PA/TDMA*).

Los paquetes de datos originados desde el HUB dirigidos a todas las VSATs, las cuales comparten la misma portadora de *outbound*, se transmiten sucesivamente en paquetes multiplexados como se muestra en la Fig. III.9. Estos paquetes se envían bajo un esquema donde el primero que entra es el primero que sale, de manera completamente asíncrona con respecto al reloj del sistema, y tan pronto como éstos están disponibles para su transmisión.

Los paquetes de datos tienen la información de la dirección de la VSAT destino. Cada VSAT recibe todos los paquetes transmitidos, sin embargo, cada una revisa el campo de dirección de los paquetes recibidos, y entonces captura los paquetes cuya dirección coincide con la propia y deshecha los paquetes restantes.

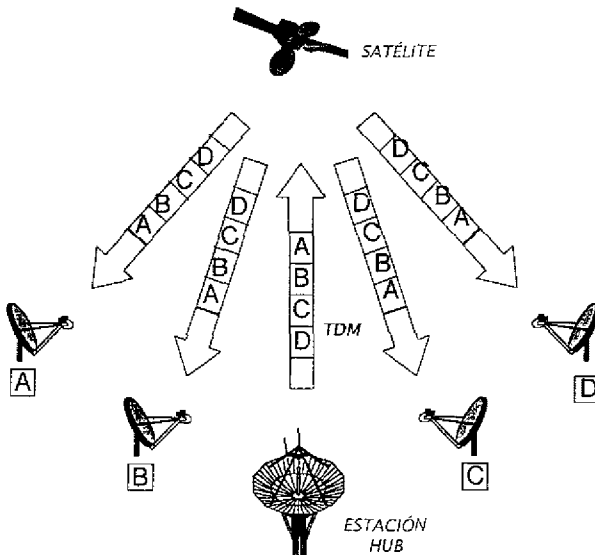


Fig. III.10 Esquema del Canal de Transmisión HUB - VSAT (Outbound)

Se insertan periódicamente secuencias de control y sincronía (*timing*), en los datos de *outbound* como se muestra en la Fig. III.10. Estas secuencias se utilizan con el propósito de sincronizar las ráfagas transmitidas desde las VSATs. También se utilizan para enviar reconocimientos de recepción (*acknowledgements*) para paquetes de *inbound* y otra información de control para las mismas VSATs.

La Fig. III.11 muestra que los paquetes son transmitidos en un formato de ráfaga. Cada ráfaga es transmitida en una ranura (*slot*) de TDMA y varias ranuras de TDMA son contenidas en una trama (*frame*) de TDMA. Esto permite que un sólo canal satelital sea compartido por varias VSATs. La temporización de la trama de TDMA está sincronizada con la señal de temporización derivada de la secuencia de control y sincronía enviada en el canal de *outbound*. Las diferencias de los tiempos de transmisión entre las estaciones remotas y el satélite, debidas a la ubicación de las estaciones remotas en diferentes localidades geográficas se compensan mediante valores de corrimiento de tiempo (*offset time*) apropiados, ajustados en los equipos de cada estación remota.

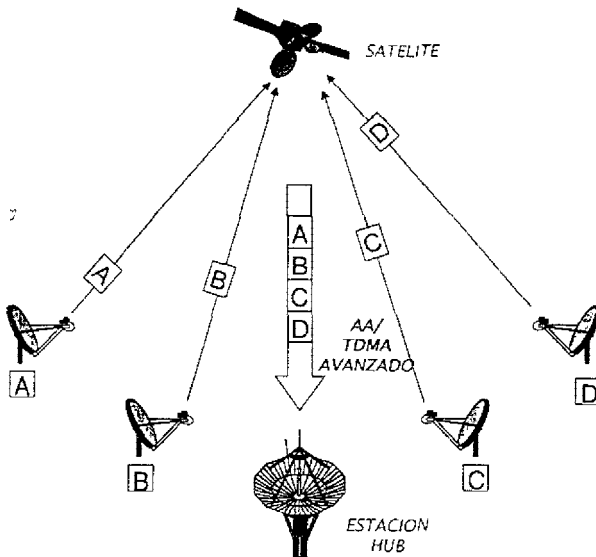


Fig. III.11 Esquema del Canal de Transmisión VSAT-HUB (*Inbound*)

El paquete satelital de *inbound* es una señal ráfaga que consiste de un preámbulo, un encabezado, una porción de datos, una secuencia de revisión de trama (*Frame Check Sequence - FCS*), y un postámbulo. El preámbulo es utilizado por los demoduladores QPSK en el HUB para la recuperación

de la portadora y el reloj. El encabezado (*header*) contiene un campo de dirección para identificar a la VSAT transmisora así como información de control. Ya que la longitud del campo de datos en la ranura es fijada por la selección de número de ranuras por trama, se insertarán bits de "relleno" cuando la longitud del mensaje del usuario sea menor que la especificada en la longitud del campo de datos de la ranura.

Por otro lado, si la longitud del paquete de datos del usuario excede la longitud del campo de datos, el paquete del usuario se segmenta y transmite en paquetes satelitales múltiples. El FCS se utiliza para detectar errores de transmisión. El postámbulo se agrega para efectos de implementación del decodificador tipo Viterbi.

Una trama de TDMA tiene una longitud de tiempo fija (de 240 milisegundos), la cual ha sido optimizada tomando en cuenta el retardo de propagación de la señal hacia y desde el satélite y el tiempo de procesamiento de los equipos. Sin embargo, el número de ranuras de TDMA, y por lo tanto la longitud de los paquetes en ráfaga del satélite, puede ser ajustada de acuerdo a las aplicaciones para las que se diseñará la red de VSATs. Esto es, la longitud de la ranura se puede seleccionar de manera que un solo paquete satelital se pueda ajustar para transportar un tamaño promedio o más probable de paquete de datos de un usuario. Por lo tanto la capacidad del canal es adaptada a una aplicación específica. El rango del número de ranuras TDMA por trama va de 4 a 20.

4.1. Operación en Modo de Acceso Aleatorio

Cuando la longitud del paquete de datos del usuario es tal que se puede enviar en un solo paquete satelital, la operación del AAA/TDMA es similar al sistema ALOHA ranurado. El concepto de la operación en modo aleatorio se ilustra en la Fig. III.12. Cada VSAT transmite su paquete de datos a la siguiente ranura de TDMA. El HUB retorna un reconocimiento en la secuencia de control y temporización en el canal de *outbound* si el paquete ha sido recibido correctamente.

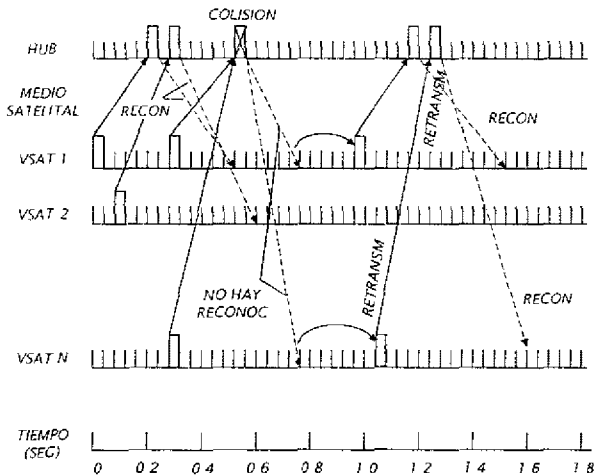


Fig. III.12 Concepto del Canal Aloha Ranurado

Sin embargo, ya que otras VSATs también pueden transmitir ráfagas en la misma ranura, puede ocurrir una colisión. En este caso, los datos enviados por ambas estaciones terrenas se perderán. Las VSATs que hayan transmitido los paquetes sabrán que ocurrió una colisión ya que éstas no recibieron el reconocimiento esperado en la secuencia de control y sincronía. Cuando esto pasa, las VSATs retransmiten los paquetes de datos después de un intervalo de tiempo escogido aleatoriamente para minimizar la probabilidad de una segunda colisión.

Utilizando la operación en modo de acceso aleatorio, la mayoría de los paquetes llegarán al HUB al primer intento, si la carga de tráfico es moderada, es decir menor al 20 por ciento del ancho de banda nominal. En este caso, el retardo de propagación de los datos es el tiempo de retardo del acceso al satélite igual a aproximadamente 270 milisegundos más el tiempo de procesamiento.

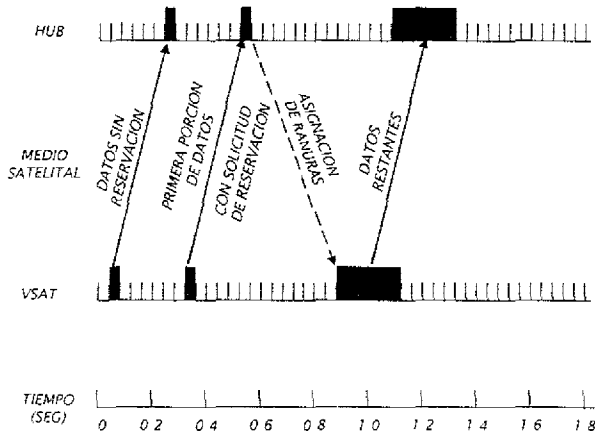


Fig. III.13 Reservación de ranuras en el método AAA/TDMA

Este es el retraso más corto que puede lograrse cuando se utiliza transmisión vía satélite. Aún si ocurre una colisión en el primer intento, la mayoría de los paquetes llegarán al HUB después de una retransmisión. En este caso, el tiempo del retardo de propagación será de aproximadamente 1 segundo más el tiempo de propagación.

4.2. Operación en Modo de Reservación

Cuando la longitud de los paquetes de datos de usuario de entrada es mayor a la longitud del campo de información en la trama TDMA y por lo tanto no se puede acomodar en un solo paquete satelital, el modo de operación del sistema AAA/TDMA será del tipo reservación tal como se muestra en la Fig. III.13. En este modo, la VSAT transmite la primera porción del paquete de datos del usuario en el paquete satelital, junto con una solicitud de reservación de ranuras de tiempo para enviar la porción del paquete de datos del usuario restante. Este primer paquete puede sufrir una colisión y, por lo tanto, hacerse necesaria una retransmisión. Si el primer paquete con la solicitud de reservación es recibido correctamente por el HUB, el controlador de acceso al satélite (SAC) asignará ranuras de tiempo para transmitir la porción restante del paquete de datos del usuario, e informará a la VSAT solicitante de la localización de las ranuras de tiempo en la trama de TDMA vía la secuencia de control y sincronía.

Al mismo tiempo, todas las VSATs compartiendo la misma portadora que la VSAT que solicitó la reservación, también serán informadas en la secuencia de temporización y control que esas ranuras han sido reservadas y por tanto éstas no podrán transmitir en las ranuras reservadas. Entonces la VSAT solicitante transmite la porción restante del paquete de datos del usuario en las ranuras reservadas con una probabilidad nula de colisión. Las reservaciones de ranuras se hacen con base en un paquete de usuario empaquetado por el mismo usuario, a excepción del caso de control de flujo, mismo que se comentará más adelante. El modo de operación con reservación es apropiado para la transmisión de datos de tipo lote, ya que esto permite la distribución dinámica de los recursos del enlace satelital para los nodos que lo necesitan más.

Una característica única del sistema AAA/TDMA es que permite la coexistencia de la transacción de datos de los tipos interactivo y lote. El procesador de banda base (*Base Band Processor*- BBP) de la VSAT determina la longitud de los paquetes de datos de entrada. Si la longitud del paquete de datos del usuario es menor que la longitud del campo de datos de la ranura de TDMA, es tomado como un dato corto, y transmitido en modo aleatorio. Si la longitud del paquete del usuario es mayor que la del campo de información de usuario, es tomado como dato largo, y transmitido en modo reservación. La decisión se realizará por cada paquete del usuario. El máximo número de ranuras en una trama a utilizarse para reservación será limitado por un valor preestablecido (por ejemplo 50%) de manera que cierto número de ranuras de tiempo esté siempre disponibles para el uso de acceso aleatorio. Cuando las ranuras destinadas para reservación no se reservan, éstas pueden ser utilizadas por el modo de acceso aleatorio para incrementar la eficiencia.

4.3. Operación en Modo de Pre-Reservación

Algunas veces el controlador de acceso al satélite (SAC) envía un paquete de datos con comandos a una VSAT, solicitando una respuesta de ésta. En este caso, el SAC reserva una ranura para el paquete de respuesta e informa de la localización de la misma ranura dentro de la trama. Entonces la VSAT puede transmitir el paquete de respuesta utilizando esta ranura "pre-reservada" sin peligro de colisión. La pre-reservación nunca se utiliza para transmisión de datos del usuario.

4.4. Operación en Modo de Asignación Permanente

En el modo PA/TDMA (*Permanent Assignment/TDMA*), las ranuras de tiempo se asignan periódicamente a algunas VSATs las cuales comparten el canal satelital. En el modo PA, las VSATs transmiten sus datos solamente en las ranuras de tiempo asignadas. Debido a que la probabilidad de colisión es nula, la eficiencia con respecto al tiempo de respuesta (*throughput*) del canal satelital es alta. Las ranuras de tiempo se asignan sin importar la presencia de datos en la estación remota. Si el canal satelital es compartido por un gran número de VSATs, el tiempo entre ranuras vacías para cada VSAT se incrementa excesivamente, y por lo tanto se incrementa el retardo de propagación. La reservación de las ranuras se realiza sobre 16 tramas de TDMA. Por lo tanto hasta 320 (16 x 20) ranuras se pueden asignar a las estaciones terrenas en una secuencia arbitraria. Nótese, que de acuerdo al siguiente apartado de este capítulo, el número máximo de VSATs permitido por cada portadora de *inbound* es igual a 200. Por lo tanto, si las 16 tramas se ranuran de tal manera que se obtienen más de 200 ranuras, estas ranuras deberán ser asignadas en una forma tal que se proporcione más de una ranura a un número de VSATs determinado por el usuario sobre esa portadora de *inbound*.

Para una asignación de ranura, se permite la mezcla de modos AAA/TDMA y PA/TDMA. En este caso, un número de ranuras se asignan para las VSATs que operarán en modo PA/TDMA y las ranuras restantes se utilizan para las VSATs que operarán bajo modo AAA/TDMA. El modo de operación (PA o AAA) de cada VSAT y la asignación de ranuras para éstas, se realiza por medio del sistema gestor (*Satellite Network Management System - SNMS*) y es cargado en la memoria de configuración del SAC y del BBP en la VSAT. Sin embargo cada VSAT deberá seleccionar cualquier modo PA o AAA de acuerdo a los parámetros de configuración cargados desde el SNMS.

La asignación de ranuras para una VSAT en modo PA es cargada en la memoria de configuración del equipo de la estación remota cuando el operador del SNMS ejecuta el comando correspondiente. El SAC indica a todas las VSATs que comparten el mismo canal de *inbound* que las ranuras están reservadas en el indicador de estado de reservación en la ranura de difusión (*broadcast*) localizado en el campo de control y sincronía de la trama del canal de *outbound*. Por lo tanto las otras VSATs que operan en modo AAA no transmitirán en las ranuras asignadas a las VSATs que operan en modo PA.

En el caso de una VSAT que opera en modo PA, los paquetes provenientes del DTE del usuario conectado a la misma, son convertidos en paquetes satelitales y enviados a la memoria de la parte del BBP denominada MAC (*Media Access Controller*) sin importar su longitud. La sección MAC envía los paquetes satelitales almacenados en la memoria sobre las ranuras asignadas en el instante apropiado de tal manera que el primero que entra a la memoria es el primero que sale. Estos paquetes no son enviados sobre las ranuras designadas para las VSATs que operan en modo AAA.

El formato del paquete satelital para las VSATs que operan en modo PA es el mismo que para las VSATs que operan en modo AAA. Cuando hay pérdida de información debida a un error de transmisión, el paquete es retransmitido. Se emplea el rechazo selectivo (*selective reject -SREJ*).

Para el tráfico de *outbound*, los paquetes de las VSATs que operan en modo PA también se transmiten de manera multiplexada, junto con los de las VSATs que operan en modo AAA.

Es posible la asignación de ranuras sobre múltiples tramas (16 tramas) para transmisiones en modo PA. El patrón de asignación de ranuras deberá repetirse cada 16 tramas ($3.84s = 16 \times 240ms$) las cuales contendrán entre 64 y 320 ranuras para los casos de 4 ranuras/trama y 20 ranuras/trama respectivamente.

Dentro de este periodo de 16 tramas, las ranuras PA pueden ser asignadas arbitrariamente dependiendo de la aplicación. Los siguientes ejemplos ilustran asignaciones disponibles para tramas múltiples:

Cuando una VSAT A tiene el doble de tráfico comparada con otras VSATs (B, C y D):

Ejemplo 1: **AxAxBxCxDxAxAxBxCxDxAxAxB . . .**

Ejemplo 2: **AxBxCxAxDxAxBxAxCxDxAxBxC . . .**

(A, B, C y D indican ranuras para modo PA y la "x" indica ranuras para modo AAA)

4.5. Asignación del Canal Satelital

Varias portadoras de 64 Kbps pueden compartir un transponder de un satélite. El número exacto de portadoras depende de las características de desempeño del equipo de radio frecuencia tanto del satélite como de la estación maestra. En los sistemas NEXTAR (equipos desarrollados por NEC) actuales se puede tener hasta un máximo de 500 estaciones terrenas compartiendo un canal satelital pero depende de la versión del software que se tenga instalada. Sin embargo, el número real de estaciones terrenas por canal satelital depende de la carga de tráfico y del tiempo de respuesta requerido para las aplicaciones de la red. Nótese que el tiempo de respuesta contra la eficiencia del canal puede ser mucho menor que su tasa de transmisión.

Esto es debido a la posibilidad de colisiones y eficiencia del método de acceso (contención). Por lo tanto, el número de portadoras de satélite necesarias para manejar el tráfico pico puede ser diferente para los canales de *inbound* con respecto a los de *outbound*. Actualmente, los sistemas NEXTAR pueden ser configurados de tal manera que una portadora de *outbound* esté asociada a varias portadoras de *inbound* en un rango de 1 hasta 8. El máximo número de VSATs por portadora de *inbound* si la densidad de tráfico no es una restricción es 200.

El número real de VSATs por portadora de *inbound* está restringido por la capacidad de las unidades SAC de la estación HUB, para manejar un cierto número de paquetes. Actualmente la Unidad Principal de Procesamiento (*Main Processor Unit* -MPU) del SAC puede manejar un total de hasta 120 paquetes por segundo en ambos sentidos si el tamaño de los paquetes es menor a 128 bytes.

4.6. Arquitectura de la Red

Básicamente, la red VSAT de datos propuesta, está diseñada para reemplazar a las redes terrestres de datos existentes sin realizar ningún cambio en el equipo de datos que actualmente esté operando o en su protocolo de comunicaciones. La conversión de protocolo es efectuada por el SAC en la estación HUB y por el BBP en la estación VSAT de manera que se pueda utilizar eficientemente el canal satelital, y eliminar los efectos del retardo de propagación de la señal al y desde el satélite.

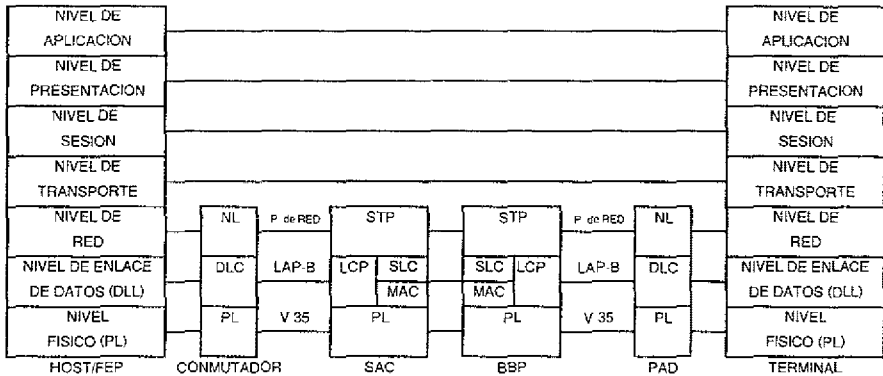


Fig. III.14 Arquitectura de la red NEXTAR

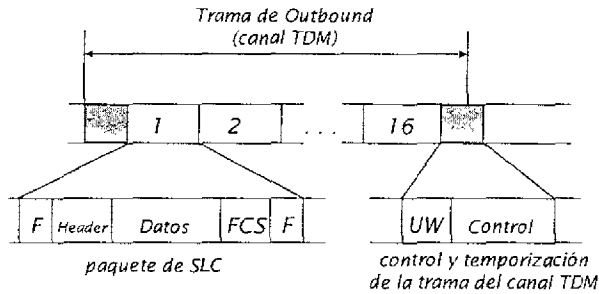
La arquitectura de la red, se ilustra en la Fig. III.14. Los niveles físico de enlace y de red del protocolo terrestre son convertidos a sus niveles correspondientes en el protocolo satelital. El proceso inverso se lleva a cabo en el otro extremo del enlace satelital. Los niveles más altos del protocolo terrestre son manejados de manera completamente transparente dentro de la red satelital, excepto por que la información de direccionamiento es requerida para propósitos de enrutamiento. Por lo tanto la red satelital es completamente transparente desde el punto de vista del usuario además que el retraso satelital es completamente eliminado. El nivel de enlace del protocolo satelital está dividido en dos capas. El inferior es llamado MAC (*Media Access Control*) Control de Acceso al Medio, y el superior es el SLC (*Satellite Link Control*) Protocolo de Enlace Satelital. El MAC controla el acceso al satélite en modo AAA/TDMA, mientras que el SLC efectúa el secuenciamiento, enrutado y control de flujo.

La información específica de los formatos de las tramas de *outbound* de *inbound* y de la secuencia de control y temporización de las mismas se muestran en las Fig. III.15 y III.16 respectivamente.

El formato del paquete de *outbound* es similar al utilizado en las tramas del protocolo terrestre LAP-B (*Link Access Procedure Balanced mode*). Los límites de las tramas están indicados por la secuencia, **01111110** (bandera), la cual se inserta de manera contigua entre tramas. También, se utiliza la inserción del cero en el paquete de tal manera que el límite de la bandera sea único.

El campo de dirección contiene la dirección única de la VSAT receptora. El campo de control contiene el número de secuencia de envío N(S), el número de secuencia de recepción N(R), y, en el caso de

tramas de información (I), información suplementaria de control de acceso al satélite. Es utilizado el número extendido de secuencia.



UW Palabra Única (Unique Word)
 F Bandera (Flag=01111110)
 FCS Secuencia de Revisión de Trama - CRC
 (Frame Check Sequence)
 SLC Satellite Link Control (nivel 2 de la OSI)

Fig. III.15 Formato de la Trama de Outbound y Secuencia de Temporización

En las tramas de supervisión (S), el campo de control contiene comandos o respuestas en lugar de N(S). En las tramas no numeradas (U), el campo de control contiene comandos y respuestas solamente, y no figura el número de secuencia. El campo de datos es de longitud variable. Por último encontramos la secuencia de revisión de trama (*Frame Check Sequence* - FCS).

Los paquetes satelitales de *inbound* consisten de un preámbulo, un *header*, una parte de datos, una secuencia de revisión de trama (FCS) y un postámbulo. El preámbulo contiene una secuencia de recuperación de portadora, una secuencia de recuperación de reloj y una palabra de inicio de mensaje (*Start of Message* - SOM). Esta secuencia es utilizada por los demoduladores QPSK de ráfaga de la estación terrena HUB, para recuperar las señales recibidas. El campo del indicador de la longitud del paquete (PL) proporciona la longitud del campo de datos. El campo de dirección contiene la dirección única de la VSAT transmisora. El campo de control es similar al del paquete de *outbound*. La información suplementaria de control contiene una solicitud de reservación de ranura y un indicador de número de retransmisión.

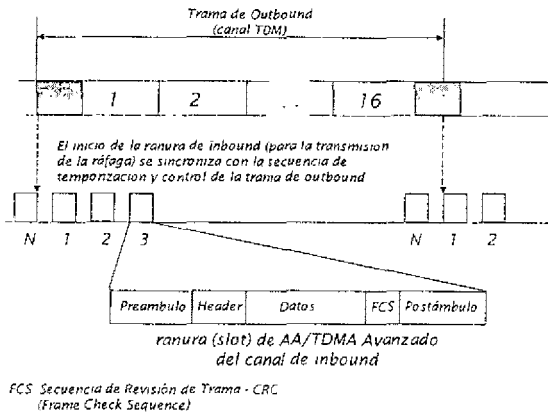


Fig. III.16 Formato de la Trama de Inbound y Secuencia de Temporización

La longitud del campo de datos es fija. Por lo tanto se agregan bits de "relleno" al final del mensaje real del usuario. El final de los datos se indica por la secuencia *Flag* como ya se mencionó antes. El FCS es insertado para detectar errores de transmisión. El postámbulo sigue al FCS y es utilizado para preparar al decodificador Viterbi para la siguiente recepción.

El número de ranuras en una trama de TDMA puede ser seleccionado por el operador del SNMS a través del comando apropiado, en un rango que va de 4 a 20, adaptable según la aplicación. El número apropiado de ranuras/trama deberá seleccionarse después de una revisión de las estadísticas de la longitud real del campo de datos del usuario propia de la aplicación para la que va a ser destinada la red satelital. El número de ranuras/trama así como otros parámetros de generación del sistema de la red pueden ser cambiados vía el comando apropiado ejecutado por un operador desde el HUB. Sin embargo, puede provocarse una interrupción en la comunicación de datos del usuario, durante el cambio, dependiendo de la naturaleza de dicha modificación.

Periódicamente se inserta una secuencia de control y sincronía de trama en el canal de *outbound*. Este indica el número de portadoras de *inbound* de TDMA controladas por el canal de *outbound*, el número de ranuras por trama de TDMA, reconocimiento de los paquetes satelitales de *inbound*, un indicador de reservación, un comando de control de tipo difusión, e información de asignación de tramas para solicitudes de reservación.

4.7. Control de Errores y de Flujo

El canal de *outbound* es continuo y generalmente opera con una tasa de errores por bit muy baja. Se utiliza un protocolo como ya dijimos similar al LAP-B. Si se presentan errores de transmisión dentro del enlace satelital, éste será detectado por el FCS y entonces los paquetes erróneos serán descartados por el BBP de la VSAT receptora. Las tramas descartadas provocan un error en la secuencia en el BBP de la VSAT receptora y por lo tanto se solicitan las retransmisiones de los paquetes perdidos a través del comando REJ (*reject*). El rechazo selectivo (SREJ) no se utiliza para el canal de *outbound* ya que normalmente estos canales operan como mencionamos previamente, con una tasa de error por bit muy baja y se lograría una mínima mejora al desempeño del enlace a cambio de un mayor grado de complejidad en la implementación. Se utiliza el número extendido de secuencia para incrementar el número máximo de tramas sin confirmar.

Ya que se pueden presentar colisiones en el canal de *inbound*, se adopta un esquema de retransmisión especial en el método AAA/TDMA. Si un paquete es recibido en el HUB sin error, se envía un reconocimiento a la VSAT originadora, en el campo de secuencia de control y temporización de trama del canal de *outbound*. Sin embargo si ocurre una colisión entre paquetes, el HUB no regresará ningún reconocimiento. La ausencia de reconocimiento provoca que la VSAT realice una retransmisión del paquete perdido después de esperar un tiempo aleatorio (máximo un período de 8 ranuras en el estado de operación normal refiérase a la siguiente sección: control de flujo).

Esto es similar al esquema de un rechazo selectivo (SREJ) ya que solamente los paquetes perdidos son retransmitidos. La estación HUB puede recibir los paquetes de *inbound* sin orden en el número de secuencia o duplicados. En este caso, el SAC en el HUB, efectúa el resecuenciamiento de los paquetes recibidos y los envía a la computadora principal (*host*) del usuario en el orden correcto.

El control de flujo es muy importante para el canal de *inbound* debido a que puede producirse una inestabilidad cuando la carga de tráfico se convierte en excesiva y se incrementa la probabilidad de colisiones. Para evitar esto, se ha implementado un sistema de control de flujo bastante elaborado. El control de flujo se lleva a cabo en dos formas. Una es el control distribuido y otra es el control centralizado.

El control distribuido es como sigue. Cuando la VSAT advierte que un paquete transmitido desde ella ha sufrido una colisión, esta considera que el sistema está congestionado e ingresa en un modo de operación de control de flujo. Entonces, ésta suspende la transmisión de nuevos paquetes en modo aleatorio. Es decir dicha VSAT solamente puede transmitir en modo aleatorio paquetes colisionados. Si existen nuevos paquetes en la cola de acceso aleatorio, éstos se cambian a la cola de reservación y solicita una asignación para ranuras de reservación cuando retransmite el paquete colisionado. Entonces todos los paquetes nuevos que vienen durante el modo de operación de control de flujo son transmitidos en ranuras reservadas sin posibilidad de colisión. El volumen del tráfico en acceso aleatorio es reducido automáticamente mediante el uso de este algoritmo. La operación de este modo de control de flujo será cancelada automáticamente cuando los paquetes retransmitidos son recibidos exitosamente por el HUB y la VSAT recibe el reconocimiento correspondiente. Sin embargo, esos paquetes que se han formado en la cola de reservación de todas maneras se transmitirán en el modo de reservación aún después que el modo de operación bajo control de flujo haya sido cancelado. Este modo de operación bajo control de flujo es posible en el sistema AAA/TDMA, ya que se ha implementado la coexistencia de los modos de operación de acceso aleatorio y por reservación.

Para el control centralizado, cada uno de los paquetes de entrada, portan un indicador de número de retransmisión. El SAC del HUB puede medir el grado de congestión de la red mediante el monitoreo de este indicador.

Si el SAC del HUB detecta una congestión excesiva de la red, en primera instancia, éste envía un comando de difusión a todas las VSATs participantes, para extender el intervalo de retransmisión. El intervalo máximo de retransmisión durante el modo de operación normal es igual a 8 ranuras el cual es extendido a un intervalo máximo de 32 y hasta 128 ranuras dependiendo del grado de congestión. El nivel de congestión es medido mediante el promedio del contador de retransmisión de los últimos 10 paquetes satelitales recibidos. Los puntos de umbral son parámetros configurables de la red.

Este control reduce el flujo de tráfico de manera efectiva dentro de la red. Si la congestión continúa, el SAC del HUB envía un comando en difusión para detener la transmisión de nuevos paquetes. Además, si el número de tramas sin reconocimiento llega al máximo, será suspendida la transmisión de paquetes nuevos para prevenir un sobre flujo y desbordamiento del banco de memoria (*buffer*) en el lado receptor.

Mediante el uso de los controles de flujo centralizado y distribuido mencionados arriba, se puede prevenir un desempeño degradado y caótico del sistema AAA/TDMA debido a un flujo de tráfico excesivo.

5. Método AA/TDMA

El método AAA/TDMA evolucionó de su predecesor AA/TDMA por lo que la descripción de este aplica directamente a ambos. Las prestaciones generales en términos de modulación, tamaño de frame, velocidad de transmisión, número de portadoras aumentaron, por lo que el sistema es más versátil y se puede configurar para adaptarse mejor a necesidades particulares.

La principal mejora fue el agregar un nivel a la arquitectura de la red satelital con lo que se puede tener control sobre funciones propias de nivel tres. De esta manera se pudieron soportar protocolos como frame bridge, IP, etc.

	AA/TDMA	AAA/TDMA
Duración de Frame	210 ms	240 ms
Número de Ranuras	5 - 15	4 - 20
Modulación	BPSK	QPSK
Número de Inbounds	3 max	8 max
Capacidad de Outbounds	56 - 64 kbps	64 - 2048 kbps
Capacidad de Inbounds	56 - 64 kbps	64 - 256 kbps
Protocolo	por tarjeta	por puerto
Paquetes/segundo	80	120

Tabla III. 2 Características de los Sistemas TDMA

6. Comparación de las Técnicas de Acceso Múltiple

De los tres principales métodos de acceso, se elige el más apropiado a la necesidad en función de la aplicación, del costo y del beneficio.

Los tres son aplicables para tráfico constante y de mensajes largos.

Ejemplo de tráfico: teléfono, televisión y videoconferencia.

TECNICA	VENTAJA	DEVENTAJA
FDMA	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Acceso continuo en la banda del satélite. ✓ Simplicidad en el funcionamiento. ✓ Sincronía no necesaria. ✓ Emplea equipo utilizado por largo tiempo ✓ Técnica muy empleada. 	<ul style="list-style-type: none"> ⊘ Falta de flexibilidad para reconfigurar el sistema. ⊘ Decrementos en la capacidad al incrementar los accesos.
TDMA	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Throughput (desempeño) casi constante para varios accesos. ✓ Todas las estaciones transmiten y reciben a la misma frecuencia o agrupados en varias frecuencias 	<ul style="list-style-type: none"> ⊘ Tiene acceso al canal sólo durante cierto time slot. ⊘ Indispensable tener sincronizadas todas las estaciones ⊘ Necesidad de redimensionar una estación terrena para elevar el throughput.
CDMA	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Operación y funcionamiento sencillo. ✓ Protección contra interferencias de otros sistemas (antijamming). ✓ Inmunidad a interferencia de otras estaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> ⊘ Emplea un ancho de banda grande y sin embargo el número de estaciones no puede ser muy alto. ⊘ Incremento en el número de estaciones aumenta la posibilidad de interferencia. ⊘ Bajo Throughput (15% para 80 estaciones).

Tabla III.3 Ventajas y Desventajas en los Protocolos de Acceso Múltiple

Throughput

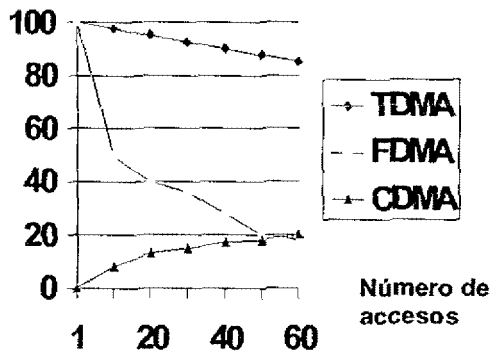


Fig. III. 17 Comparación TDMA / FDMA / CDMA

Conclusiones

Los sistemas VSAT son redes de comunicación por satélite que permiten el establecimiento de enlaces entre un gran número de estaciones remotas con antenas pequeñas (de ahí el nombre VSAT: Very Small Aperture Terminals) con una estación central generalmente conocida como Hub.

Este tipo de sistemas está principalmente orientado a la transferencia de datos entre las unidades remotas y los centros de proceso conectados al Hub. También son apropiadas para la distribución de señales de video y, en algunos casos, se utilizan para proporcionar servicios telefónicos entre las estaciones remotas y el Hub.

El Sistema TDM/TDMA, es altamente recomendable por su eficiencia para todo tipo de aplicaciones transaccionales.

Por ser una tecnología de comunicación satelital extensamente probada y debido a que utiliza antenas de pequeña apertura VSAT, ésta solución ha comprobado ser óptima y de bajo costo para la creciente demanda de los servicios de comunicación de empresas modernas. TDM/TDMA como una tecnología de acceso al satélite, flexible y eficiente, TDM/TDMA (Time Division Multiplex/Time Division Multiple Access) nos permite transmitir con un máximo aprovechamiento de ancho de banda, además de integrar una gran cantidad de sitios remotos en la red. Todo esto, debido a que la intercomunicación entre los diferentes usuarios es selectiva ya que identifica la prioridad de la información a transmitir por cada sitio. Es decir, los sitios remotos mandan su información, de manera tal que cada estación identifica el tiempo en el que le corresponde transmitir.

Su utilización principal es para transacciones pequeñas, por ejemplo autorizaciones de tarjetas de crédito, transacciones de tarjetas de débito o sistemas de monitoreo para inventario y control. La cantidad de mensajes puede variar y no requiere de velocidades de transmisión altas (usualmente a 9.6 Kbps). Otra gran ventaja que tiene TDM/TDMA es que se puede enviar información a "Grandes cadenas de tiendas" como es el caso de las tiendas de autoservicio para el control efectivo de todos sus movimientos. En estos casos, es prioritario tener un sistema de comunicación suficientemente

ágil y efectivo para comunicar cualquier tipo de cambio a todas las sucursales. El sistema TDM/TDMA es la técnica de comunicación más efectiva y recomendable para esta aplicación.

Los servicios de una organización de transacciones financieras dependen del enlace eficiente entre la oficina central y las remotas. El sistema TDM/TDMA es utilizado por cientos de sitios proporcionando a las terminales ATM's (cajeros automáticos), el servicio de intercomunicación con los centros de procesamiento de datos. Estas aplicaciones permiten a los clientes acceder al sistema de información de cuentas en todo momento.

Entre la gran cantidad de empresas que utilizan el sistema TDM/TDMA, están las aerolíneas que dependen de su red de comunicación para la operación eficiente de sus sistemas de reservaciones, búsqueda de clientes en bases de datos y los registros de millaje para los programas de viajeros frecuentes, así como, de todos sus programas especiales de información para las transacciones de rentas de automóvil.

La industria hotelera a nivel mundial, cuenta con este tipo sistema, mismo que consideran como plataforma indispensable para las comunicaciones entre sus cadenas y agencias de viajes.

Recolección de datos remotos (SCADA) SCADA es otra aplicación de TDM/TDMA, que permite realizar de manera confiable aplicaciones de monitoreo y control. Este tipo de comunicación es empleada en industrias de servicio eléctrico, petrolero y conductos de gas, entre otras, para que la oficina central supervise y monitoree periódicamente el "status" de los equipos de las localidades remotas a fin de controlar las válvulas, conmutadores, etc.

Glosario

ACKNOWLEDGEMENTS: Respuesta con Conocimiento.

BBP: Base Band Processor.

CINTURONES DE VAN ALLEN: En 1958, Jaime Van Allen sugirió que dos cinturones de intensas radiaciones cercan la tierra. Los instrumentos llevados por cohetes y satélites mostraron que el cinturón interno alcanza su máxima intensidad a 3200 Km. aproximadamente, y el externo a 16000 Km. sobre la superficie de la Tierra. Más allá, las radiaciones van perdiendo intensidad y cesan a los 65000 Km. Entre los dos cinturones hay una capa de radiación débil. Pero el comportamiento de los cinturones es extraño. El que está más cerca de la tierra es bastante estable, pero el externo se deslizó unos 1500 km. hacia el sur, hasta colocarse sobre la parte norte de Estados Unidos, y se desplaza sin cesar, entre el norte y el sur, por una zona de 800 Km. de anchura. Los científicos opinan que los cinturones consisten en partículas de alta carga eléctrica que fueron capturadas por el campo magnético de la tierra. Cada partícula oscila velozmente entre los polos norte y sur según la línea de fuerza magnética que ha encontrado. Describe espirales abiertas encima del ecuador magnético y espirales más cerradas cerca de los polos

DTE: Data Terminal Equipment. Equipo Terminal de Datos. Se refiere por ejemplo al ordenador conectado a un módem que recibe datos de éste.

FACTOR G/T: Relación de ganancia a temperatura de ruido expresado en decibeles por un grado kelvin.

GATEWAYS: Puerta de Acceso. Dispositivo que permite conectar entre sí dos redes normalmente de distinto protocolo o un Host a una red. En Español: Pasarela.

IDU: Indoor Unit.

INTELSAT: Organización Internacional de Telecomunicaciones por Satélite.

KERNELL: El Kernel esta constituido por el protocolo de acceso a la red, que asigura el acceso al satélite y la entrega adecuada de la información al tiempo que implementa funciones de control de congestión y administración.

LNA: Local Area Network.

NEXTAR: Modem Satelital de NEC.

ODU: Outdoor Unit.

PABX: Central Privada de Conmutación.

RECONOCIMIENTO ACK: Reconocimiento.

SAC: Satellite Access Controller.

SSPA: Solid State Power Amplifier.

THROUGHPUT: Desempeño.

TWTA: (Travelling Wave Tube Amplifier). Amplificador de potencia para estaciones terrenas. Es intrínicamente un amplificador de banda ancha que abarca toda la banda utilizable del satélite (500 Mhz o más) con la uniformidad de ganancia y retardo de grupo necesarios. Permite transmitir simultáneamente con un solo tubo varias portadoras telefónicas independientemente de los repetidores y de las frecuencias atribuidas a esas portadoras. En este tubo un haz de electrones reacciona repetida y continuamente con ondas electromagnéticas guiadas de tal manera que hay transferencia neta de energía del haz a la onda, transferencia que constituye un mecanismo de amplificación. Este tubo es un amplificador de salida de un transpondedor; al tener una vida limitada, se convierte en una limitante de vida de un satélite.

WLL: Bucle Local Inalámbrico.

Bibliografía

FUENTES PRIMARIAS

Anónimo; Sistemas Nextar V AAA/TDMA; México; NEC de México; 1999.

Anónimo; Digital Technology; [s.l.e]; Intelsat; 1999.

FUENTES SECUNDARIAS

Corona Cruz Pablo; Satélites de Radioaficionados; Barcelona; Marcombo; 1994.

Ruiz de Angulo J. G.; Los Satélites de Comunicaciones; [s.l.e.]; Marcombo; 1989.

Autores Varios; Nueva Enciclopedia Temática; Tomo I; México; Cumbre; 1976.

DIRECCIONES ELECTRÓNICAS

¡Tarifa Plana! Comunicaciones por Satélite; [http://www. Tarifaplana.net/vsat.htm](http://www.Tarifaplana.net/vsat.htm); 2000.

Redes VSAT; <http://www-mat.upc.es/-master/8330M.html>; 2000

Comsat México; http://www.comsat.com.mx/fichas_comerciales/TDM.html; 2000

Hispasat; http://www.etsit.upv.es/asig/5%BA/tel_espa/pract_1/sistvsat.htm; 2000