

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



ESTUDIO DE LAS TELECOMUNICACIONES EN ZONAS RURALES AISLADAS UTILIZANDO TECNOLOGIA VSAT

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELÉCTRICO

PRESENTADO POR:

MODESTO LUIS ARACAYO OLAZAVAL

**PROMOCIÓN
1986- I**

**LIMA – PERÚ
2010**

**ESTUDIO DE LAS TELECOMUNICACIONES EN ZONAS RURALES AISLADAS
UTILIZANDO TECNOLOGIA VSAT**

Agradezco a mis padres por el apoyo permanente e incondicional, y a mi hermano Leo, quien ha dejado un aporte invaluable para mi persona y carrera profesional.

SUMARIO

El desarrollo de las telecomunicaciones crece día a día debido a la gran demanda de usuarios que requieren para sus diversas aplicaciones, tanto para las zonas urbanas y rurales. Asimismo, el aporte de las telecomunicaciones en la telemedicina y teleeducación, está permitiendo y obligando a los operadores de telecomunicaciones a la convergencia de voz, datos y video que conduce al desarrollo de tecnologías de acceso de banda ancha que permita el tráfico adecuado, seguro y estable de la información.

El presente informe de suficiencia trata del estudio de telecomunicaciones rurales utilizando tecnología VSAT (terminales de muy pequeña apertura), que es un sistema de comunicación satelital, utilizado principalmente para brindar servicios de comunicaciones a lugares remotos o aislados(rurales) donde otras tecnologías no llegan o tiene un costo muy alto. Su cobertura es independiente de la distancia donde se instalara una estación VSAT, dependerá únicamente de la huella del satélite.

En el Capítulo I, se hace un planteamiento del problema de las comunicaciones en las zonas rurales aisladas y la necesidad de la banda ancha. En el Capítulo II, se presenta el marco teórico conceptual de las diferentes tecnologías existentes en nuestro medio, mostrando sus fortalezas y debilidades (técnico económico). La tecnología satelital VSAT, que será el objetivo de este informe de suficiencia, estudio de satélites de comunicaciones, descripción general de redes VSAT, topologías de las redes VSAT, técnicas de acceso múltiple al Satélite, banda de frecuencias asignadas por UIT y el PNAF. En el Capítulo III, se plantea la aplicación de la tecnología satelital, como la mejor alternativa para proveer servicio de internet de banda ancha a una localidad rural de la región Moquegua; parámetros necesarios que se requieren para el análisis del enlace satelital y descripción del satélite Satmex 5 utilizado para el estudio. De los resultados del análisis, se concluye que el enlace se puede llevar a cabo, por tanto se puede implementar la Estación VSAT. En el Capítulo IV se plantea la implementación de la estación VSAT propuesta, características y especificaciones técnicas de los equipos necesarios para su implementación, la evaluación económica y el tiempo de ejecución.

INDICE

PROLOGO	1
CAPITULO I	
PLANEAMIENTO DEL PROYECTO	3
1.1 Antecedentes	3
1.2 Objetivos	4
CAPITULO II	
MARCO TEORICO CONCEPTUAL	5
2.1 Introducción	5
2.2 Tecnologías utilizadas para comunicaciones Rurales	5
2.2.1 Tecnología VHF	5
2.2.2 Tecnología HF	6
2.2.3 Tecnología Mar	8
2.2.4 Tecnología WiFi	9
2.2.5 Tecnología WiMAX	10
2.2.6 Tecnología GSM / CDMA 450	11
2.2.7 Tecnología Satelital VSAT	12
2.3 Descripción de la Tecnología VSAT	13
2.4 Concepto básico sobre Satélites	16
2.4.1 Perspectiva Histórica	16
2.4.2 Teoría sobre satélites	17
2.4.3 Parámetros de los Sistemas Satelitales	20
2.4.4 Principales Orbitas de los Satélites de Comunicaciones	23
2.5 Definición de VSAT	25
2.6 Configuración de una Red VSAT	25
2.7 Elementos de una Red VSAT	27
2.8 Configuración y Topologías de Redes VSAT	29
2.9 Banda de Frecuencias	30
2.10 Técnicas de Acceso Múltiple al Satélite	32

2.11	Acceso Múltiple con Asignación por Demanda (DAMA)	36
2.12	Tipos de Comunicación que se puede brindar con los Sistemas VSAT	37
2.13	Mantenimiento	38
2.14	Frecuencias asignadas por la PNAF	39

CAPITULO III

APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA SATELITAL VSAT 41

3.1	Introducción	41
3.2	Características del Satélite Satmex 5	42
3.3	Desarrollo del enlace Satelital	45
3.3.1	Parámetros necesarios para el desarrollo del enlace	45
3.3.2	Apuntamiento de la antena terrestre hacia el satélite	46
3.3.3	Determinación del Ancho de Banda	46
3.3.4	Distancia entre la estación terrena y el satélite	47
3.3.5	Análisis del enlace ascendente	48
3.3.6	Análisis del enlace descendente	50
3.3.7	Calculo del enlace total	52
3.3.8	Análisis del enlace total	53
3.3.9	Calculo del margen del enlace	54

CAPITULO IV

IMPLEMENTACION Y EVALUACION ECONOMICA 55

4.1	Implementación de la estación VSAT	55
4.1.1	Equipamiento de la estación VSAT	56
4.1.2	Seguridad de los equipos interiores de una Estación VSAT	62
4.2	Determinación de costos del Proyecto	64
4.2.1	Tiempo de ejecución	66

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 67

BIBLIOGRAFIA 69

PROLOGO

Por el principio de **Acceso Universal** a las telecomunicaciones, el cual está definido como el acceso al servicio de las telecomunicaciones para telefonía (voz), deberían proveer este servicio a todos los lugares del país, tanto en las zonas urbanas y en las zonas rurales o cercanos a él, donde el acceso a las telecomunicaciones es limitado y en algunos casos es nulo.

De otro lado, existe el concepto de **Servicio Universal**, esto nace de un principio fundamental: el de que todo poblador debe acceder por lo menos a un servicio básico de telecomunicaciones. En ese sentido, se entiende como **Servicio Universal**, el uso del servicio de telecomunicaciones no solo básico de voz, sino también de los diferentes niveles de servicios avanzados (e-mail, y otros); ya que las telecomunicaciones son la vía principal para el desarrollo e integración de los pueblos.

El presente informe trata del uso de la tecnología VSAT para telecomunicaciones rurales. VSAT (Very Small Aperture Terminal) quiere decir terminales (antenas) de muy pequeña apertura para comunicaciones satelitales, como una solución de comunicaciones donde otras tecnologías no llegan o tienen un costo muy elevado.

En el Perú, se han implementado algunas tecnologías para dar solución a la falta de comunicación en zonas rurales como VHF, HF, MAR (multiacceso radial), que son tratados en el Capítulo II, actualmente la mayoría de ellas están migrando al sistema satelital con tecnología VSAT.

No pretendemos únicamente que este informe sea solo una herramienta teórica que explica el uso de esta tecnología tratada en el capítulo II; en el capítulo III le damos enfoque práctico y las herramientas necesarias para el diseño de un enlace satelital, y en el Capítulo IV, la implementación (equipos) de una red VSAT, para brindar servicios de internet de banda ancha a una determinada localidad (rural), de modo que el lector sea capaz de implementar una estación VSAT sin inconvenientes. El solo hecho de tener acceso a internet de banda ancha, permitirá a dicha localidad, el acceso a otros servicios como voz sobre ip, video, comercio electrónico, desarrollo de Páginas Web, correo

electrónico, videoconferencia. Todo esto contribuye de forma importante al acceso universal a los servicios de la tecnología de la información y comunicaciones.

Según fuentes del INEI el 26% de la población total del Perú aproximadamente viven en las zonas rurales.

El Gobierno, a través de **Osiptel** que es el encargado de atender las necesidades de servicios de telecomunicaciones de los centros poblados más pobres; para solucionar el problema generado por la escasa o casi nula comunicación por el fuerte grado de aislamiento en que se encuentran, y así poder integrarlos a la economía nacional para que sean partícipes de los beneficios que traen las telecomunicaciones.

En el Perú, el organismo encargado de financiar los proyectos de telecomunicaciones rurales es el **FITEL** (fondo de inversiones en telecomunicaciones), que afecta el 1% sobre los ingresos brutos de las principales empresas operadoras de servicios públicos de telecomunicaciones en el Perú (Telefónica del Perú, Telmex, Nextel y otros).

Consecuentemente, aparece la frase "**Brecha Digital**", que es un concepto relacionado principalmente con la carencia de internet. A nivel de telefonía las diferencias se van acortando en las zonas rurales, pero en conectividad siguen las carencias, sobre todo en los países en vías de desarrollo. Nuestro país no es ajeno a esto.

El acceso a la tecnología de la información y a las comunicaciones crece con mayor rapidez en el sector de las comunicaciones móviles.

El sistema más adecuado y seguro para llegar a estos lugares, es utilizando el sistema satelital de comunicaciones, tecnología VSAT por el fácil despliegue de su infraestructura.

Las redes satelitales VSAT (terminales de muy pequeña apertura) utilizan antenas o reflectores parabólicos, cuyas dimensiones fluctúan de 0.9 a 1.8 metros de diámetro (típico de 1.2 metros). Se apoyan en el uso de satélites de comunicaciones como elemento transmisor/receptor a fin de proporcionar una gran variedad de servicios de telecomunicaciones (voz, datos y video).

Y agradecimientos especiales a mis profesores de la FIEE (Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica).

CAPITULO I

PLANEAMIENTO DEL PROYECTO

1.1 Antecedentes

El desarrollo vertiginoso de las telecomunicaciones en estos últimos años a nivel de tratamiento de señales y equipos ha sido explosivo, permitiendo de esta manera avances y mejoras. Las telecomunicaciones rurales no están al margen o ajenas a estos cambios tecnológicos. Los primeros sistemas de comunicaciones rurales como el sistema VHF, HF, sistema MAR (multiacceso radial) y otros, permitían integrar localidades rurales mediante radioenlaces terrestres, teniendo a la radiodifusión y telefonía (voz), como los únicos servicios de telecomunicaciones. Actualmente, existe una amplia variedad de aplicaciones en telecomunicaciones como e-mail (correo electrónico), e-commerce (comercio electrónico), tele-educación (educación a distancia), telehealth (telecomunicaciones al servicio de la salud), telemedicina, entre otros. Esto hace ver la importancia que tiene el hecho de acceder a servicios interactivos en tiempo real y no solo la conectividad por voz. En la actualidad, este tipo de aplicaciones nos conducen a la necesidad de usar la banda ancha, la cual es una tendencia que se intensifica en las zonas rurales.

El Grupo 7 de UIT encontró que el internet es la plataforma más usada para llevar aplicaciones multimedia en áreas rurales de países en desarrollo. La importancia actual de internet, está en que tiene el potencial para mejorar el flujo de recursos económicos y educacionales entre las comunidades rurales y las ciudades. Como se menciono anteriormente entre las áreas de aplicación para internet están: telemedicina, educación en salud pública, educación, y también ayudaría a mejorar los servicios del gobierno para los agricultores.

Entonces, hablar de una verdadera revolución en el mundo rural en materia de acceso a servicios de telecomunicaciones a través de la banda ancha, conllevaría a un enorme impacto en el desarrollo productivo del país.

Por lo escrito líneas arriba acerca de las aplicaciones multimedia que se podrían emplear en zonas rurales, y esto agregado al hecho de que la telefonía IP implica

menores tarifas vemos que la banda ancha resulta ser, en efecto, una alternativa más que interesante para lograr un desarrollo económico-social en las zonas rurales.

Para tal efecto, existen tecnologías inalámbricas utilizadas en zonas rurales que permitan proveer Internet banda ancha, como la tecnología WiMAX, CDMA 450, la tecnología Satelital VSAT; cuyas características técnicas económicas las mostramos en el Capítulo II.

Como nos proponemos proveer de Internet de banda ancha a una localidad rural de la Región Moquegua, para ello podemos utilizar cualquiera de las tecnologías mencionadas anteriormente. Pero haciendo el análisis técnico, económico y acceso de las tecnologías, se consolida la tecnología satelital VSAT, porque la mayoría de los localidades rurales de nuestro país se encuentran en lugares de difícil geografía; prácticamente aislados. Esto imposibilita el desarrollo y despliegue de otras tecnologías. El mayor inconveniente de estas tecnologías (CDMA 450, WiMAX) es que necesitan la presencia de centrales de conmutación cercanas a ellas y de radioenlaces terrestre para ampliar su cobertura, elevando sus costos, esto hace inaccesibles para las zonas rurales o aisladas.

1.2 Objetivos

Utilizar la tecnología satelital VSAT, como mejor alternativa de las tecnologías existentes en nuestro medio para proveer de internet de banda ancha a las zonas rurales o aisladas (para nuestro caso la localidad de Ubinas región Moquegua), desde el punto de vista técnico, económico y seguridad.

Proporcionar una guía completa para el desarrollo de enlaces satelitales y la implementación de una estación VSAT.

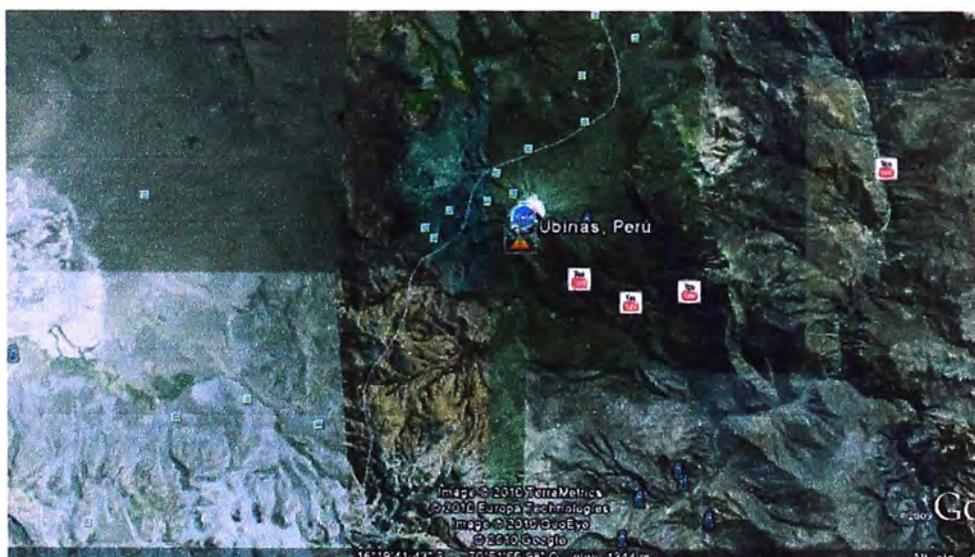


Figura 1 Localidad de Ubinas vista desde el Satélite – 3,400 m.s.n.m.

CAPITULO II

MARCO TEORICO CONCEPTUAL.

2.1 Introducción

En este capítulo se presenta tecnologías inalámbricas utilizadas para comunicaciones en las zonas rurales o aisladas, conceptos básicos sobre satélites, historia, el transpondedor, tipos de satélites, orbitas, parámetros de los satélites, etc.

Se identificará las características, alcances y limitaciones de la tecnología VSAT; además de especificar las condiciones técnicas óptimas para su aplicación exitosa en diferentes escenarios geográficos.

Los enlaces vía satélite permiten establecer conexión entre dos o más puntos situados en la tierra, utilizando un satélite en el espacio como sistema repetidor. Con el fin de ampliar los horizontes de las telecomunicaciones a cualquier rincón del mundo, y sobre todo, con el fin de llegar a la mayoría de usuarios, por muy recóndito que sea el lugar; existe una tendencia a la utilización de terminales con antenas parabólicas de tamaño reducido (VSAT) para el intercambio de información vía satélite punto a punto o punto a multipunto (broadcasting). La ventaja de una estación terrestre VSAT sobre una conexión de red terrestre típica, es que las VSAT no están limitadas por el alcance del cableado subterráneo. Una estación terrestre VSAT puede instalarse en cualquier parte, sólo requiere ser vista por el satélite. Existe otro tipo de ventajas relacionadas con el bajo costo de operación, la mayor facilidad de expansión de la red, y sobre todo, como se ha indicado antes, la instalación en lugares donde es difícil llegar con cable o F.O.

2.2 Tecnologías utilizadas para Comunicaciones Rurales

2.2.1 Tecnología VHF (Very High Frequency)

Este sistema de comunicación que trabaja en la banda de 30 MHz hasta 300Mhz, alcanza comunicaciones de hasta 70 kilómetros, limitados por la potencia del transmisor, altura de las antenas de transmisora y receptora para poder compensar la curvatura de la tierra y los obstáculos que se presentan en su trayecto. Para este tipo de comunicación, es recomendable que exista línea de vista entre las antenas transmisora y

receptora, sin embargo se puede lograr comunicación a pesar de obstáculos vegetales y pequeñas elevaciones de terreno.

Para llegar a lugares más distantes, se pueden utilizar repetidores que permiten radioenlaces de hasta 3 saltos. Esta tecnología está diseñada básicamente para telefonía (voz), además estar cerca a una central telefónica o unidad remota de abonados (URA). A partir de esta central es posible llevar una línea telefónica (extensión) a una zona rural. Este sistema de comunicación permite realizar comunicaciones de voz full dúplex, es bastante limitado para datos. Para efectuar los radioenlaces en este sistema, es bastante sencillo porque el lóbulo de radiación es amplio.

Ventajas y desventajas que presenta esta tecnología

Ventajas:

Permiten enlaces de largo alcance a pesar que se requiere línea de vista, pero se pueden salvar obstáculos vegetales no muy profundos. Fácil reutilización de frecuencias.

Esta tecnología es utilizada en zonas de Selva Baja, Costa y en las zonas interandinas. La calidad de la comunicación es buena durante las 24 horas del día, porque la propagación de ondas no es afectada por los cambios climatológicos.

Desventajas:

Para llegar a lugares más remotos, se requieren repetidores (hasta 3 saltos).

El uso de la banda VHF requiere de una licencia de servicio que la da la PNAF (plan nacional de asignación de frecuencias).

El consumo de energía es alto sobre los 100W frente a otros sistemas que consumen menos de 10W.

En zonas rurales donde no hay energía eléctrica comercial, se tiene que prever de sistemas de paneles solares de superficies mucho mayor, o mayor cantidad de paneles solares, baterías solares de mayor capacidad de corriente (A). Esto hace más elevado el costo de esta tecnología.

Solo permite comunicaciones de voz, para datos, se requieren de software especializados.

2.2.2 Tecnología HF (High Frequency)

Este sistema de comunicaciones HF está en el rango de 3Mhz a 30Mhz, el cual permite comunicaciones de cientos de kilómetros, miles de kilómetros inclusive. Utiliza la capa de la Ionosfera como medio de transmisión y rebote de las ondas que se propagan, denominándose "Onda Ionosferica". Cuando se refleja llega al receptor. Estas ondas con 2 saltos pueden llegar hasta 2,000 kilómetros sin inconvenientes. La propagación depende de las capas de la ionosfera, las cuales poseen un comportamiento aleatorio en

cuanto a estructura y densidad. Depende de la hora, estación del año, afectando directamente a las frecuencias de trabajo. Para tener en cuenta estas características, y poder configurar apropiadamente los equipos a una frecuencia adecuada para las condiciones climatológicas, época, hora y lugar; se determinan frecuencias mínimas LUF y frecuencias máximas MUF de trabajo. Por debajo de la frecuencia LUF, no se podría realizar propagación ionosférica, debido a que hay gran absorción, y la señal quedaría enmascarada por el ruido. A frecuencias mayores a MUF, las ondas atraviesan la ionosfera y no son reflejadas a la tierra, porque ese es el modo de trabajo de esta tecnología. Las frecuencias LUF y MUF son denominadas frecuencias de corte.

Por el gran recorrido que hacen las ondas ionosféricas, desde el punto de transmisión hasta el punto de reflexión (la ionosfera que está ubicada entre los 60 y los 500 kilómetros sobre la superficie terrestre), y luego el punto de recepción; se producen considerables pérdidas en el espacio libre y además el desvanecimiento multitrayecto de la señal. Este sistema HF permite comunicaciones distantes a través de terrenos planos, elevados, montañosos o cualquier otro obstáculo, sin la necesidad de equipos retransmisores, como los repetidores.

Esta tecnología está destinada para comunicaciones de voz (telefonía). Por sus características (ruido, bajo ancho de banda) no es recomendable para la transmisión de datos, es un sistema de comunicación half dúplex.

Los modems para HF son demasiados lentos (de 100 a 300bps para radioaficionados) y muy caros. Como este modo de propagación depende de la estación, hora y lugar; sufre desvanecimientos, por eso esta tecnología no es utilizada para la transmisión de datos.

Ventajas y desventajas

Ventajas:

La distancia no es un inconveniente, pueden obtenerse enlaces a distancias muy largas (Miles de kilómetros).

Se pueden realizar enlaces hasta más de 1 salto, 2 saltos es decir la misma onda es reflejada 2 veces por la ionosfera hacia la tierra.

Se pueden alcanzar lugares difíciles o remotos, sin necesidad de repetidores (no es necesario línea de vista entre el transmisor y el receptor).

Es una solución viable para cualquier situación, ya que no requiere de estudios profundos de propagación.

Desventajas:

Enlaces de poca calidad con variaciones en pequeños intervalos de tiempo.

Limitaciones técnicas por la baja velocidad obtenida, se usa principalmente para la transmisión y recepción de voz half dúplex.

Además este sistema de comunicación solamente se puede utilizar a ciertas horas con cierta calidad, dependiendo de muchos factores (modulación, polarización, frecuencia y otros).

Entorno muy sensible a errores por los desvanecimientos ocasionados por las incertidumbres de la propagación ionosférica.

Consumo de energía mayor que los otros sistemas (usan transceptores de 100W).

2.2.3 Tecnología MAR (Multi Acceso Radial)

Esta tecnología está basada en enlaces de microondas con línea de vista directa (los). Es utilizado cuando el número de usuarios en una zona determinada es relativamente elevado o cuando solo se dispone de un número limitado de canales. En estos sistemas, se asigna un grupo de canales radioeléctricos a una determinada zona de servicio. Todos los abonados de esa zona constituyen un radioeléctrico de acceso múltiple, y cada uno de ellos puede utilizar, a petición, cualquier canal libre de grupo.

Estas redes permiten el uso común de canales, es decir, varias frecuencias o intervalos de tiempo, por muchos abonados, y esta se clasifican en:

Redes de acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA).

Redes de acceso múltiple por división en el tiempo (TDMA).

Las redes de acceso múltiple se pueden configurar en tres modos de transmisión: El modo radial, derivación y el modo lineal.

En este sistema de comunicación, su principal aplicación es la distribución de líneas telefónicas desde una central telefónica (URA) a una central automática privada (PABX), es decir, para telefonía.

Ventajas y desventajas de este sistema

Ventajas:

Esta tecnología puede ser utilizada para facsímile, aplicación para datos utilizando un modem y para SCADA (sistema para adquisición de datos).

Desventajas:

Su principal aplicación es la transmisión de voz (telefonía)

Requiere de radioenlaces con línea de vista directa.

Esta expuesta al robo y al vandalismo, porque utiliza repetidores para ampliar su cobertura y utiliza alambre de cobre en la etapa ultima milla.

Consumo mayor de potencia con respecto a otras tecnologías.

Este sistema solamente se puede utilizar en lugares cercanos a una central de conmutación telefónica (URA).

Su costo aumenta al utilizar repetidores (radioenlaces).

2.2.4 Tecnología WiFi

La familia de estándares IEEE 802.11 (802.11^a, 802.11b y 802.11g), más conocida como WiFi (Wireless Fidelity), tiene asignadas las bandas ISM (Industrial, Scientific and Medical) 902Mhz – 928Mhz, 2.400Ghz – 2.4835Ghz, 5.725Ghz – 5.850Ghz para uso en las redes inalámbricas basadas en espectro ensanchado con objeto de lograr redes de área local inalámbricas (WLAN).

WiFi comparte la mayoría de su funcionamiento interno con Ethernet, sin embargo difiere en la especificación de la capa física (PHY) utilizando señales de radio en lugar de cable y en su capa de control de acceso al medio (MAC), ya que para controlar el acceso al medio, Ethernet usa CSMA/CD; mientras que WiFi usa CSMA/CA.

El gran ancho de banda entre 1 y 11Mbps para 802.11b y hasta 54Mbps para 802.11^a/g a un precio reducido, lo presenta como una de las mejores opciones para la transmisión de datos y telefonía empleando voip (voz sobre IP).

No obstante, pueden ser utilizadas (bajo ciertas restricciones legales de potencia) en exteriores, si se introducen antenas externas, amplificadores adecuados, etc. Las regulaciones vigentes en Hispanoamérica permiten establecer enlaces de decenas de kilómetros a potencias muy bajas, con un ancho de banda mucho mayor que otras soluciones tecnológicas, lo que abre el camino a servicios como aplicaciones de tiempo real (con ciertas restricciones). Como la comunicación punto a punto solo puede darse entre estaciones con línea de vista, en muchos casos no se logra comunicaciones que supere los 40 kilómetros. No obstante, se pueden mejorar los enlaces utilizando repetidores para interconectar dos estaciones que se encuentren a distancias mayores.

Ventajas y desventajas que presenta el uso de esta tecnología

Ventajas:

Uso de frecuencias no licenciadas en las bandas de 2.4/5.8Ghz con algunas limitaciones de potencia.

Velocidades desde 1Mbps hasta 54Mbps.

Tecnología con estándar ampliamente conocido y fácil de configurar lo que favorece los bajos costos de los equipos.

Flexibilidad: Un nodo puede adherirse a la red si puede ver a uno de los nodos vecinos (las zonas rurales aisladas normalmente no siguen una distribución geométrica ordenada alrededor de un punto central).

Hardware fácilmente integrable en un sistema impermeable que soporte condiciones meteorológicas adversas.

Interface inalámbrica o WIFI económicas y fácil de instalar.

Desventajas:

Requiere línea de vista directa (elevaría el costo para superar distancias mayores a 40 kilómetros), por que tendríamos que utilizar repetidores).

Esta tecnología fue diseñada para redes locales (corto alcance) hay que superar el inconveniente para distancias mayores utilizando repetidores (decenas de kilómetros).

El número de colisiones aumenta con el número de usuarios.

Tiene un número limitado de canales que no causan interferencias, 3 canales en 2.4Ghz y 8 canales en 5.8Ghz.

2.2.5 Tecnología WiMAX (wordwide interoperability for microwave acces)

El estándar IEEE 802.16 más conocido como WiMAX, es el resultado de los trabajos realizados entre los años 2002 y 2005 en el IEEE para la definición de nuevas propuestas tecnológicas que permitan cubrir algunos vacios de las redes inalámbricas de banda ancha. Es decir, permitir redes inalámbricas de alta performance en áreas metropolitanas sin una perfecta línea de vista; facilitar la distribución de conectividad por medios inalámbricos, a mayores distancias (decenas de kilómetros) en zonas semiurbanas y zonas rurales, soportar el parámetro calidad de servicio (QoS) y usuarios con necesidades de otros servicios.

El estándar 802.16d plantea dos rangos de frecuencias de funcionamiento de los equipos. Por un lado, las bandas licenciadas de 10Ghz a 66Ghz proporcionan un entorno físico en el que debido a la reducida longitud de onda es imprescindible disponer de línea de vista. Se prevé su uso para proporcionar acceso en pequeñas oficinas y hogares. De otro lado, las bandas por debajo de los 11Ghz proporcionan un entorno físico en el que no es imprescindible disponer de línea de vista. El estándar proporciona soporte para los dos escenarios con línea de vista y sin línea de vista para dicha banda de frecuencias. Su aplicación está destinada para proporcionar acceso en entornos metropolitanos (MAN), así como en enlaces de largo alcance. De esta forma, los proveedores de servicios de telecomunicaciones podrán utilizar equipos que sigan este estándar (equipos para WiMAX) para ofrecer acceso de banda ancha para redes IP con velocidades de hasta 120Mbps para abonados privados sin necesidad de llevar la red física (cableada) hasta cada desplazamiento final.

Por otro lado, el funcionamiento de las redes WiMAX es similar al de una red GSM, en la que una malla de estaciones base (BTS) permite el acceso a muchos usuarios, pudiendo manejar múltiples sectores independientes de forma simultánea.

Todas las comunicaciones tienen que pasar por una estación base, siendo imposible la comunicación directa entre dos estaciones subscriptoras. WiMAX es orientado a conexión, por lo que las estaciones subscriptoras deben solicitar servicio a la misma.

Cuando la estación base recibe una solicitud de incorporación de una nueva estación subscriptora, calcula si es posible garantizarle un servicio mínimo manteniendo los compromisos con otras estaciones subscriptoras.

Ventajas y desventajas que presenta el uso de la tecnología WiMAX

Ventajas:

Fue creado y diseñado como estándar para redes metropolitanas exteriores desde su concepción.

Su rango normal de operación se encuentra entre los 7 y los 10 kilómetros (no requiere de línea de vista pura), pero pueden llegar hasta 50 kilómetros sin modificaciones.

No sufre el problema del nodo oculto, ni aumentan las colisiones con el número de usuarios, ya que la estación base va asignando slots a cada estación, evitando así las colisiones que conllevan a una importante pérdida de paquetes.

No necesita línea de vista para efectuar un enlace.

Utiliza antenas inteligentes las cuales optimizan su patrón de radiación automáticamente en función de la demanda.

Tiene la posibilidad de asignar diferente ancho de banda a cada canal de radio, desde 1.5Mhz hasta 20Ghz. Esto permite la posibilidad de reutilizar frecuencias y de una mejor planificación de las celdas y hace que el número de canales no interferentes entre sí dependa únicamente del ancho de banda disponible. En una red WiMAX se puede proporcionar calidad de servicio (QoS), lo cual es muy importante para algunas aplicaciones (tiempo real) y para la gestión de redes en general.

Desventajas:

El costo de equipos WiMAX, instalación, torres y antenas para zonas rurales resulta demasiado costoso e inalcanzable para mucho de ellos (\$35,000 Estación Base BTS).

2.2.6 Tecnología GSM 400 / CDMA 450

El instituto europeo de normas de telecomunicaciones (ETSI) estableció una norma regional para la aplicación del sistema global para comunicaciones móviles (GSM) en la banda de 400 MHz En lugar de las bandas de 900Mhz y 1800 MHz, permite que cada estación base (BTS) cubra una zona más amplia, sería utilizado en localidades rurales dispersas y de mayor cobertura. El CDMA en 450 MHz, es una tecnología que utiliza ensanchado espectral (Speread Spectrum) como medio de acceso permite que varios usuarios compartan una misma banda de frecuencias. Esta tecnología mediante la técnica de Spread Spectrum la señal de información es codificada utilizando una llave de código que provoca su ensanchado espectral en una banda transformándola en ruido. El CDMA 450 tiene una gran ventaja en cuanto a la propagación de la señal con la

utilización de una sola estación base. Se estima que una estación CDMA 2000 en los 450 MHz sin ningún obstáculo podría tener una cobertura hasta 80 kilómetros, esta tecnología es una solución ideal para zonas rurales porque el espectro está libre. Su principal aplicación es voz y banda ancha para datos.

Ventajas y desventajas de esta tecnología

Ventajas:

En la banda de 450 MHz puede ser utilizada para proveer acceso de banda ancha a los usuarios de datos fijos o móviles en las zonas rurales, como el acceso a internet para hospitales, empresas y otros usuarios.

Permite aplicaciones como servicios de localización de voz, mensajería instantánea móvil, telemática, telemedicina, etc.

Desventajas:

Su principal desventaja es su alto costo (\$ 35, 000 BTS incluido antena.)

2.2.7 Tecnología Satelital VSAT

Las telecomunicaciones satelitales bidireccionales de voz y datos está prácticamente copado en Hispanoamérica por la tecnología: VSAT (Very Small Aperture Terminal). Las redes VSAT son redes de comunicación de datos vía satélite para el intercambio de información punto a punto, multipunto (broadcast o interactiva, IP multicast). El componente principal de las redes VSAT es el Hub Satelital, que es la estación terrena principal o central. Este permite realizar la comunicación entre dos terminales VSAT, es decir, que todo intercambio de información tiene que pasar por el Hub. Esta configuración de red logra que las estaciones VSAT sean simples, bajo costo y fácil de instalar.

Las antenas usadas tienen un diámetro relativamente pequeño menores de (2.4 m, típicamente de 1.2 m), las estaciones terminales tienen bajo consumo de energía.

Con esta tecnología se consiguen diseñar redes muy densas con altas velocidades de transmisión si hay pocos usuarios conectados simultáneamente, permitiendo la transferencia de voz, datos y video.

La tecnología VSAT utiliza el estándar DVB-RCS como plataforma de soporte para el acceso bidireccional a internet de banda ancha.

Ventaja y desventajas de la tecnología

Ventajas:

Gestión centralizada de la red, lo cual simplifica el trabajo de las estaciones terminales.

Servicio totalmente independiente de la distancia.

Cobertura global e inmediata.

Fácil y rápida implementación en lugares de difícil acceso (zonas rurales o aisladas). Los enlaces asimétricos se adaptan a los requerimientos de transferencia de datos entre una estación central que transmite mucha información a estaciones remotas que responden con poca información.

Facilidad de reconfiguración y de ampliación de la red. El uso de un satélite hace que se pueda establecer contacto con cualquier punto dentro de su área de cobertura con los que los receptores pueden cambiar de ubicación sin más cambio que la reorientación de la antena.

La inclusión de un nuevo terminal a la red no afecta significativamente al funcionamiento de los demás.

Se suele diseñar redes VSAT para tener una disponibilidad de red del 99.5% del tiempo con un BER de 10^{-7} .

Estabilidad de los costos de operación de la red durante un largo periodo de tiempo.

Una organización puede ser propietaria de prácticamente todos los segmentos de red.

Esto hace que el presupuesto dedicado a comunicaciones se pueda establecer con gran exactitud. El único segmento de que la organización no puede ser propietaria es del segmento espacial, pero sus precios son muy estables con tendencia a la baja por la fuerte competencia de operadores de servicios satelitales.

Evita las restricciones que impone una red pública en cuanto a costos y punto de acceso.

Desventajas:

Las inversiones al inicio son elevadas sobre todo en la implementación del Hub satelital, pero este problema puede ser atenuado recurriendo al alquiler del Hub.

El punto más crítico de la red VSAT está en el satélite. Toda la red depende de la conexión del transpondedor. Si esta queda inoperativa, toda red dependiente del transponder queda sin conexión. Pero no es tan grave porque se puede cambiar de transpondedor con un simple cambio de frecuencia. En el peor de los casos el Satélite puede quedar fuera de servicio, bastara con cambiar de operador y reorientar las antenas al otro satélite.

2.3 Descripción de la Tecnología VSAT

VSAT o Very Small Aperture Terminal o terminales de muy pequeña apertura, es una pequeña estación terrena (las dimensiones de sus antenas parabólicas son pequeñas) usadas para la transmisión y recepción full dúplex de voz, datos, video y otros servicios avanzados, vía enlace satelital.

Una red VSAT consta de un Hub satelital ubicado en la sede principal de la empresa (estación terrena central) o en la capital de la nación, un sistema de administración de redes denominado NMS (Network Managent Systems), las estaciones remotas VSATs

(segmento terrestre), y el segmento satelital correspondiente (transpondedor). La estación Hub central posee una antena mucho más grande que las VSATs remotas. Hay una estación VSAT por cada lugar remoto que se quiera conectar al sistema, pudiendo ser decenas, centenas inclusive miles de lugares remotos. La comunicación entre el HUB y las terminales remotas se hace mediante la portadora (canal) entrante y saliente, con la finalidad de usar los recursos de tiempo y frecuencia de forma eficiente sin sacrificar rendimiento.

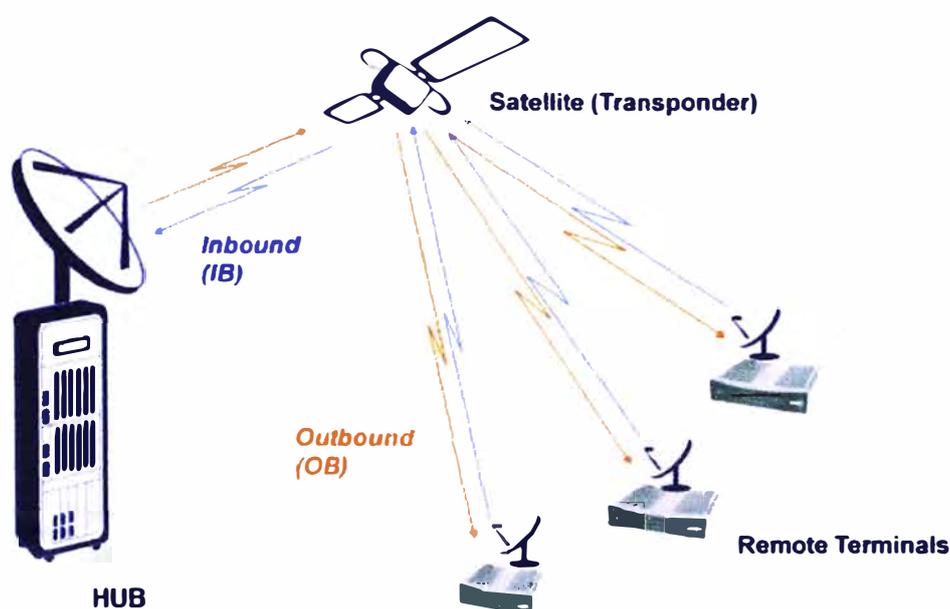


Figura 2.1 Descripción de una red VSAT típica

La portadora saliente (**Outbound**): Es el canal desde el HUB a las Vsat, este canal es asignado al trayecto de datos por satélite que incluye el uplink desde el HUB y el downlink correspondiente a un grupo de Vsat. (Estándar DVB-S2)

La portadora entrante (**Inbound**): Es el canal desde las Vsat al HUB, este canal es asignado al trayecto de datos por satélite que incluye el uplink de una o más estaciones Vsat y el downlink correspondiente al HUB. (Estándar DVB-RCS)

HUB

El HUB se encarga de enrutar el tráfico entre las terminales Vsat, optimizando el acceso al satélite. El HUB se encarga de recibir todas las comunicaciones de datos vía satélite de las terminales Vsat y encaminarlas para su retransmisión. El HUB está

conformado básicamente por una unidad interior que se encarga de procesar y enrutar las señales, una terminal de Radio Frecuencia RF que se encarga de recibir y transmitir las señales hacia las terminales Vsat y una computadora HOST (NMS) que se encarga de administrar la red. El Hub es una estación más dentro de la red pero con la característica que es la más grande que el resto de las estaciones VSAT, las dimensiones del diámetro de la antena parabólica varia de 3 a 11 metros y utiliza mayor potencia de emisión (PIRE).

El costo de la estación Hub es alto comparado con las estaciones VSAT por lo tanto representa una mayor inversión dentro de la red, pero se tiene la posibilidad de tener el Hub en propiedad o alquilado.

El Hub organiza el tráfico entre terminales VSAT, y optimiza el acceso a la capacidad del satélite

Dentro de las arquitecturas usadas que hacen uso de Hub, podemos encontrar las siguientes opciones:

Hub Dedicado (dedicated): Es propiedad del usuario de la red y opera solo para beneficio de él. Un Hub dedicado puede soportar cientos, miles de VSAT remotos conectados a él, el Hub es utilizado cuando se tiene una red VSAT con topología estrella.

Hub Compartido (shared): Es propiedad y opera para el proveedor de servicio que invierte y opera en el Hub para beneficios de diversas redes independientes de usuario.

Mini Hub: El uso de estos es reciente, debido a la mejora de la potencia de los satélites y de los equipos receptores de gran sensibilidad, el mini Hub utiliza antenas de 3 metros es dedicado, puede manejar 30 terminales VSAT a un costo bajo.

El NMS (Network Management System)

El NMS sistema de administración de red es un programa que permite al operador desarrollar operaciones de red, como la de monitoreo, control y gestión de redes VSAT.

El operador del NMS (Network Management System) está en la posibilidad de ver, modificar y transmitir configuración específica hacia cada VSAT de manera independiente.

Adicionalmente el NMS puede realizar diversas tareas como:

Configurar la red, de acuerdo a una necesidad funcional, como es el caso de una red broadcast, red estrella o malla.

Realizar tareas de control y verificación de alarmas de alguna estación Vsat.

Realiza tareas de monitoreo del trafico generado en la red y tarificación para el caso de ser el Hub compartido.

Habilita, modifica, visualiza, configura individualmente elementos del Hub y de los terminales remotos.

El NMS por tener una arquitectura cliente/servidor, permite múltiples operadores para ejecutar tareas de gestión de red, tienen administración y control centralizado.

Habilita la creación de nuevos terminales remotos, configura y reconfigura remotamente a los elementos de los terminales remotos.

Asigna direcciones IP de los VSATs remotos.

	HUB grande	HUB pequeño	VSAT	VSAT
Diámetro de la antena	10 m	3 m	1.8 m	1.2 m
Potencia del transmisor	100 W	10 W	1 W	1 W
PIRE máximo	81.1 dBW	61.6 DBW	46.2 dBW	42.7 dBW
Perdidas del alimentador	0.1-0.3 dB	0.1-0.3 dB	0.1-0.3 dB	0.1-0.3 dB
Perdidas de desapuntamiento	0.4-0.6 dB	1.7-3.1 dB	1.3-1.9 dB	0.1-1.4 dB
Pire real	80.2-80.6 dBW	58.2-59.8 dBW	44.0-44.8 dBW	41.0-41.6 dBW

Tabla 2.1 Valores típicos de PIRE para una estación VSAT y HUB

2.4 Conceptos básicos sobre satélites

2.4.1 Perspectiva histórica

El afán por ampliar las comunicaciones y abarcar todos los rincones de la tierra, ha conducido a los científicos a buscar medios cada vez más complejos para lograrlo.

Realmente la transmisión espacial fue concebida con más de diez años de anticipación al lanzamiento de los primeros satélites artificiales. En 1945 el científico inglés Arthur C. Clarke propuso el uso de un satélite terrestre para radiocomunicación entre varios puntos de la superficie terrestre. Clarke sugirió en una publicación el diseño de una nave espacial tripulada que podría lanzarse como un cohete. La nave se posicionaría a una altitud aproximada de 36,000 kilómetros, giraría junto con la tierra y habría receptores y equipo de transmisión terrestres que llevarían las señales a una determinada parte de la tierra. Este mecanismo es básicamente el mismo con el que funcionan los sistemas de satélites geosíncronos.

Entre la década de los 50 y 60, con el fin de abarcar la comunicación entre zonas, se utilizaron globos meteorológicos metalizados para establecer un sistema de comunicación a través del rebote de las señales que se producían en dichos globos, pero no se tuvieron los resultados esperados; las señales recibidas eran demasiado débiles

para aprovechar un uso práctico. El avance en este campo de comunicaciones tuvo que esperar hasta el lanzamiento del primer satélite artificial.

El lanzamiento de los satélites artificiales inició el 4 de octubre de 1957, cuando la antigua Unión Soviética envió al espacio el Sputnik I, con el objeto de realizar experimentos. Se inició entonces una lucha por la conquista del espacio entre la antigua Unión Soviética y EEUU pues inmediatamente el Congreso Norteamericano aprobó la cesión de fondos para proyectos de desarrollo de satélites, y al año siguiente ese país lanzó el Explorer I.

La generación de satélites comerciales para comunicaciones empezó en 1965 con el lanzamiento del satélite Intelsat I, el cual podía manejar 250 llamadas telefónicas internacionales. Este sería el primero de una serie de doce propiedades de Intelsat.

2.4.2 Teoría sobre Satélites.

Un satélite artificial es un repetidor de ondas localizado en órbita alrededor de la tierra. A diferencia de un satélite real, el satélite artificial puede ampliar las señales antes de devolverla. El satélite contiene varios transpondedores, cada uno de los cuales captan alguna porción del espectro, amplifica la señal de entrada y después la envía a otra frecuencia para evitar la interferencia con la señal de entrada. Los haces retransmitidos pueden ser amplios con lo que puede cubrirse una amplia porción de la superficie terrestre, o bien pueden ser estrechos y como consecuencia cubrirse un área de solo cientos de Km de diámetro.

Los satélites se clasifican principalmente por el tipo de órbita que describen, en concreto por el radio de su órbita, de este modo tenemos los satélites geosincrónico y los llamados de órbita baja, estos últimos tienen como desventaja de que solo son visibles en un intervalo de tiempo corto por lo requiere que las antenas terrestres sigan su movimiento, apuntando de forma imprecisa al satélite. Por supuesto que el sistema de seguimiento, las instalaciones de este tipo de antenas son muy costosas.

Los satélites geosincronicos, es decir, aquellos con órbita geoestacionaria son los más utilizados para las comunicaciones. Los satélites se ubican sobre el plano ecuatorial a una altura de 36.000 Km sobre la superficie terrestre. A esta altura la velocidad de giro del satélite alrededor de la tierra es la misma que la velocidad de rotación terrestre, con lo cual visto desde un punto sobre la tierra, el satélite está fijo.

Los satélites de comunicaciones geoestacionarios ocupan principalmente dos bandas de frecuencia: banda C y banda Ku. Los primeros satélites operaron en banda C, cuyas frecuencias del *uplink* son del orden de los 6 GHz y las del *downlink* están alrededor de los 4 GHz La banda Ku se define entre 11 y 14 GHz. La aparición de esta banda de frecuencias superiores fue un tanto cuestionada por los posibles efectos negativos de la

lluvia en el enlace. No obstante, dado que la lluvia no abarca grandes áreas se suelen usar varias estaciones terrestres a las que se envían las señales, es decir, se utiliza técnicas de Bypass de forma que si una estación no puede recibir o emitir, se puede utilizar otra estación.

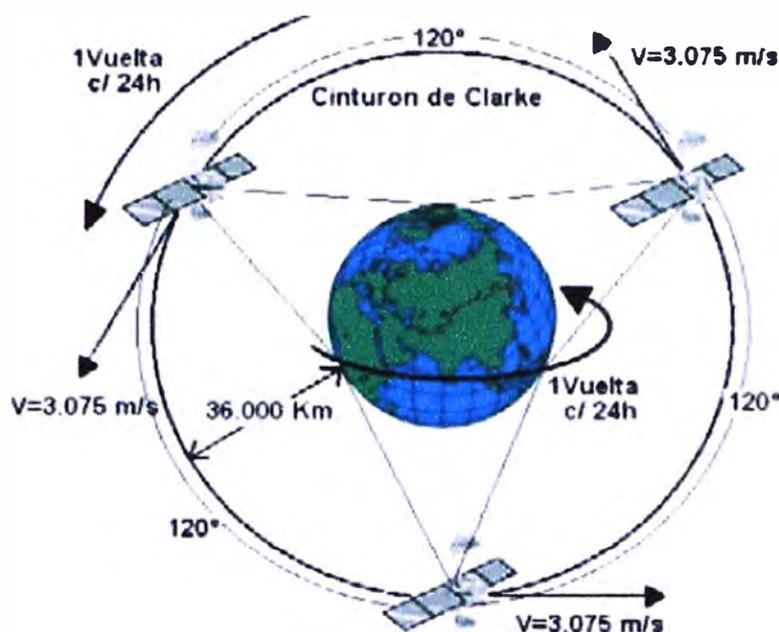


Figura 2.2 Trayectoria de un satélite en órbita geostacionaria

El siguiente cuadro especifica las principales bandas del espectro usadas para la transmisión por satélite, incluyendo los problemas que acarrearán:

Banda	Frecuencias	Enlace descendente (GHz)	Enlace Ascendente (GHz)	Problemas
C	4/6	3.7-4.2	5.925-6.425	Interferencia Terrestre
Ku	11/14	11.7-12.	14.0-14.5	Lluvia
Ka	20/30	17.7-21.7	27.5-30.5	Lluvia, costo de Equipos

Tabla 2.2 Bandas principales usadas para transmisión por satélite

Cabe notar, como en la anterior tabla se hace referencia a dos tipos de frecuencias distintas, una para el enlace ascendente (uplink) y otra para el enlace descendente (downlink); esto se hace para evitar interferencias, y, en general para reducir pérdidas. Esto es consecuencia de que la energía disponible en el satélite está muy limitada y por tanto no se puede incrementar la potencia de la señal descendente a niveles elevados.

Esta razón obliga a que la frecuencia del enlace descendente sea inferior a la frecuencia del enlace ascendente (uplink).

Un satélite requiere de una estación terrestre de seguimiento de forma que conjuntamente al satélite forman lo que se denomina *segmento espacial*. Por otro lado, el denominado *segmento terrestre* lo forman las estaciones que utilizan al satélite como repetidor de sus señales. El satélite no es más que un repetidor activo ubicado en el espacio. Las emisiones y recepciones de la información se realizan a través de los amplificadores del satélite ("transponders" o transpondedor) y existen de dos tipos:

Transpondedor transparente: La señal llega al satélite, es filtrada para separarla de otras señales e interferencias, se cambia su frecuencia portadora, se amplifica y se retransmite hacia la tierra.

Transpondedor Regenerativo: La señal digital que llega al satélite sufre el mismo proceso que un repetidor regenerativo. La señal es procesada y regenerada antes de trasladarla a otra frecuencia y retransmitirse hacia tierra.

Los satélites de comunicación por lo general tienen hasta una docena o más de transpondedores. Cada transpondedor tiene un haz que cubre una parte de la tierra debajo de él, el cual varía entre 250 Km y 1000 Km de diámetro y un ancho de banda de 36 a 50 MHz

Existen diversas circunstancias que hacen de los enlaces por satélite una buena alternativa: distancias grandes, obstáculos geográficos o limitaciones energéticas, cobertura distribuida, etc. La principal ventaja de los enlaces por vía satélite viene dada por el hecho de la gran cobertura proporcionada por estos sistemas con independencia de la topografía geográfica de la zona.

Típicamente en una transmisión satelital, las señales llegan al satélite desde la estación terrena por el enlace ascendente (uplink) y se envían a la tierra desde el satélite por el enlace descendente (downlink), con intensidad similar y simultáneamente a cualquier estación terrena dentro de su área de cobertura, y con un tiempo de retardo de transmisión entre la emisión y la recepción de 250ms. Para cada enlace se usan dos tipos de frecuencias distintas para evitar interferencias y para reducir las pérdidas. Típicamente, la potencia downlink es inferior a la uplink debido a que la energía disponible en el satélite es limitada y no es posible incrementarla fácilmente.

2.4.3 Parámetros de los Sistemas Satelitales

Los parámetros básicos a considerar en una comunicación satelital son:

Frecuencia

Las señales en un sistema satelital van de una estación terrena hacia el satélite (haz ascendente) y del satélite son retransmitidas hacia otra estación terrena (haz descendente). Para evitar interferencias entre los dos haces, las frecuencias de ambos son distintas; por esto el satélite tiene que convertir la señal recibida de una frecuencia a otra antes de retransmitirla. Esta tarea la realiza el módulo de comunicaciones del satélite éste es llamado transponder. Las frecuencias del haz ascendente son mayores que las del haz descendente, debido a que a mayor frecuencia se produce mayor atenuación en el recorrido de la señal, y por tanto hay que transmitir con más potencia; y en la tierra se dispone de ella. Entre más alta sea la frecuencia de la portadora, más pequeño es el diámetro requerido de la antena para una ganancia específica.

Existen bandas de frecuencia específicas para la utilización de transmisiones satelitales, y el uso de determinada banda de frecuencia dependerá de la aplicación.

Modulación

El término modulación abarca el conjunto de técnicas para transportar información sobre una onda portadora, típicamente una onda senoidal. Estas técnicas permiten un mejor aprovechamiento del canal de comunicación, lo que permitirá transmitir más información simultánea y/o proteger la información de posibles interferencias y ruidos. Básicamente, la modulación consiste en hacer que un parámetro de la onda portadora cambie de valor de acuerdo con las variaciones de la señal moduladora, que es la información que queremos transmitir.

Dependiendo del parámetro de la señal portadora sobre el que se actúe, tenemos distintos tipos de modulación, en transmisiones satelitales los métodos de modulación más utilizados son.

Modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK)

La Modulación por desplazamiento de frecuencia o FSK, (*Frequency Shift Keying*) es la más simple de las modulaciones digitales y por lo tanto es de bajo desempeño. Es similar a la modulación de frecuencia (FM), pero más sencillo, dado que la señal moduladora es un tren de pulsos binarios que solo varía entre dos valores de tensión discretos.

En la modulación digital, a la relación de cambio a la entrada del modulador se le llama *bit-rate* y tiene como unidad el bit por segundo (bps).

A la relación de cambio a la salida del modulador se le llama *baud-rate*. En esencia el *baud-rate* es la velocidad de símbolos por segundo.

En FSK el *bit rate* = *baud rate*. Así por ejemplo un 0 binario se puede representar con una frecuencia f_1 , y el 1 binario se representa con una frecuencia distinta f_2 .

Modulación por desplazamiento de amplitud (ASK)

La modulación por desplazamiento de amplitud, en inglés *Amplitude-shift keying* (ASK), es una forma de modulación en la cual se representan los datos digitales como variaciones de amplitud de la onda portadora.

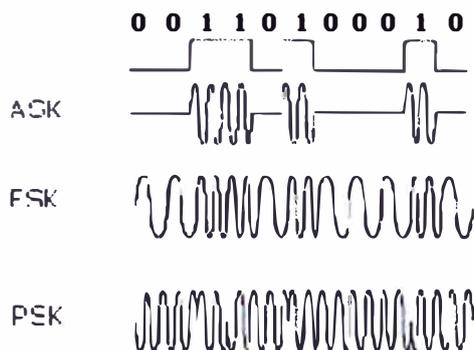


Figura 2.3. Técnicas de Modulación

La forma más simple y común de ASK funciona como un interruptor que apaga y enciende la portadora, de tal forma que la presencia de portadora indica un 1 binario y su ausencia un 0. Este tipo de modulación por desplazamiento *on-off* es el utilizado para la transmisión de código Morse por radiofrecuencia, siendo conocido el método como operación en onda continua. Otros procedimientos más sofisticados de codificación operan sobre la base de utilizar distintos niveles de amplitud, de forma que cada nivel representa un grupo de datos determinado. Por ejemplo, un esquema de codificación que utilice cuatro niveles puede representar dos bits con cada cambio de amplitud; uno con ocho niveles puede representar tres bits y así sucesivamente. Esta forma de operación requiere una alta relación señal/ruido en el medio de transmisión para una correcta recuperación de la información en recepción, por cuanto gran parte de la señal es transmitida a baja potencia.

Modulación por desplazamiento de fase (PSK) La modulación por desplazamientos de fase o modulación en fase, varía la fase de la portadora, en relación a una fase de referencia, en 180° y así representar el paso de un 0 a un 1 para el caso de BPSK.

Si el PSK es no binaria, es decir tiene más de 2 valores posibles, modifica la fase en los n valores posibles, la técnica más conocida de estas es la QPSK la cual tiene 4 distintos cambios de fase para representar las combinaciones de bit 00, 01, 10 y 11.

Orientación de la estación terrena hacia el satélite

Para orientar correctamente una estación terrena en dirección al satélite por medio del cual se desea comunicar, se definen los ángulos de elevación y azimut, que se miden con referencia a la línea sobre la cual la antena tiene ganancia máxima (eje del plato parabólico). Su valor depende de las coordenadas geográficas de la estación (latitud y longitud) y la posición orbital del satélite. El máximo error de ángulo admisible para captar la señal del satélite es del orden de $0,2^\circ$. Si se aumenta este valor en escasos milímetros, ya sea en elevación como en azimut, la antena apuntará a varios centenares de kilómetros de la porción orbital del satélite.

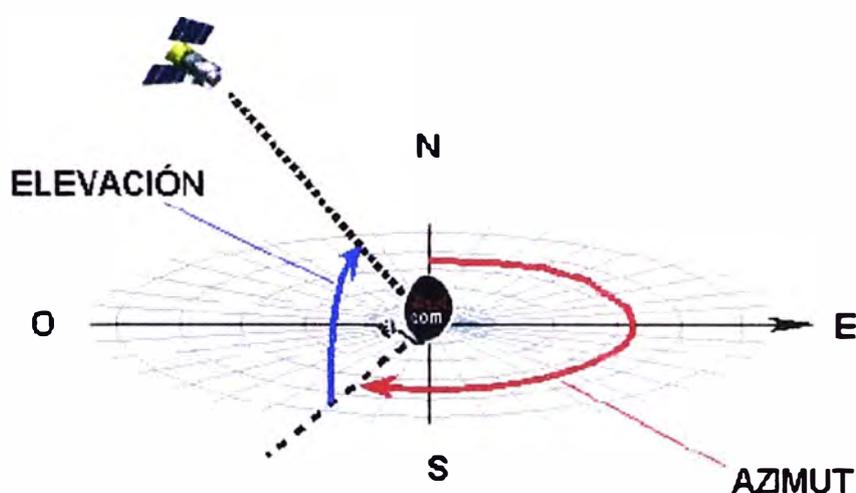


Figura 2.4. Ángulo de elevación y azimut

Fuente. <http://www.diesl.com>

La elevación se define como el ángulo de inclinación formado entre el horizonte y la línea de vista entre la estación terrena y el satélite.

El azimut (o Acimut) es el ángulo horizontal de rotación medido en sentido de las manecillas del reloj, entre la línea que une a la estación terrena con el norte geográfico y la proyección horizontal de la máxima radiación de la antena que debe apuntar en dirección del satélite, se indica en grados sexagesimales Este u Oeste, tomando como referencia la longitud de Greenwich.

El ángulo de azimut y elevación de la antena terrestre está dada por la distancia entre esta y el satélite y por su ubicación geográfica.

Para encontrar el azimut (A) tenemos:

Si la estación terrena está en el hemisferio norte y al oeste del satélite:

$$A = 180 - A' \quad (E1)$$

Si la estación terrena está en el hemisferio norte y al este del satélite:

$$A = 180 + A' \quad (E 2)$$

Si la estación terrena está en el hemisferio sur y al oeste del satélite:

$$A = A' \quad (E 3)$$

Si la estación terrena está en el hemisferio sur y al este del satélite:

$$A = 360 - A' \quad (E 4)$$

Siendo

$$A' = \tan^{-1} \{ \tan(\theta_s - \theta_L) / \sin\theta_l \} \quad (E 5)$$

En donde θ_s es la longitud del satélite, θ_L es la longitud de la estación terrena y θ_l es la latitud de la estación terrena.

Para la elevación (E), considerando a la tierra como una esfera perfecta con radio $R_e=6,378.155\text{Km}$ y que el radio orbital geostacionario es $r=42,164.2\text{Km}$, se tiene que:

$$E = \tan^{-1} \left(\frac{(r - R_e \cos\theta_l \cos(\theta_s - \theta_L)) / (R_e \sin(\cos^{-1}(\cos\theta_l \cos(\theta_s - \theta_L)))) - \cos^{-1}(\cos\theta_l \cos(\theta_s - \theta_L))}{\cos(\theta_s - \theta_L)} \right) \quad (E 6)$$

Polarización

Es la orientación del vector del campo eléctrico de la onda electromagnética. Se pueden dar los siguientes casos:

Vertical: el campo eléctrico se halla en un plano vertical a la dirección de propagación.

Horizontal: el campo eléctrico está en un plano horizontal.

Oblicua: el campo eléctrico posee una inclinación de 45 grados respecto de la horizontal.

Circular: el extremo del vector del campo eléctrico se mueve en forma circular.

2.4.4 Principales Orbitas de Satélite de Comunicaciones

En primer lugar veamos la definición de órbita:

Órbita: es la trayectoria que describe, con relación a un sistema de referencia especificado, el centro de gravedad de un satélite o de otro objeto espacial, por la acción principal de fuerzas naturales, fundamentalmente las de gravitación.

Las órbitas de los satélites artificiales se clasifican de acuerdo ha:

- a) Su distancia respecto de la superficie de la Tierra (geosíncrona, geoestacionaria, de baja altura, de media altura y excéntricas).
- b) Su plano orbital con respecto al Ecuador (ecuatorial, inclinada y polar).
- c) La trayectoria orbital que describen (circular y elíptica).

Ahora describiremos los términos explicitados en los ítems anteriores:

Órbita geosíncrona: se denomina así a aquella órbita que tiene la característica de ser circular y donde los satélites cumplen una circunvolución completa alrededor de la Tierra en un día sideral.

Órbita geoestacionaria u órbita de los satélites geoestacionarios: se denomina así a aquella órbita que tiene la característica de ser geosíncrona, se encuentra en el plano del ecuador (inclinación de cero grados) y además es una órbita progresiva (el satélite se desplaza en el mismo sentido en el cual rota la Tierra). Se encuentra situada aproximadamente a 35.786 Km de altura. Con lo cual cualquier objeto que se coloque en algún punto de la misma parece estar inmóvil respecto de la Tierra.

Es importante resaltar que este círculo virtual es único y tiene una capacidad para un número limitado de satélites.

Órbitas terrestres de baja altura (LEO): se encuentran comprendidas en el rango de altitud 500 Km a 1.500 Km, entre las llamadas región de densidad atmosférica constante y la región de los cinturones de Van Allen. Los satélites de órbita baja son muy utilizados en sistemas de comunicaciones móviles.

Órbitas terrestres de media altura (MEO): se encuentran comprendidas en el rango de altitud 8.000 Km a 18.000 Km. Los satélites de órbita media son muy usados también en las comunicaciones móviles.

Inclinación de una órbita (de un satélite de la Tierra): Ángulo determinado por el plano que contiene una órbita y el plano del ecuador terrestre medido en grados entre 0° y 180° y en sentido anti horario desde el plano ecuatorial de la Tierra en el nodo ascendente de la órbita.

Órbitas polares: en esta órbita, el satélite sigue un plano paralelo al eje de rotación de la tierra pasando sobre los polos y perpendicular al ecuador.

Órbitas circulares: se dice que un satélite posee una órbita circular, si su movimiento alrededor de la tierra es precisamente una trayectoria circular.

Este rango es variable, hay publicaciones que lo toman de 7.000 a 12.000 Km y otras toman un promedio y la centran en 10.000 Km. En este texto nosotros adoptamos ese rango porque es el publicado en el Manual de Comunicaciones por Satélite de la UIT.

Órbitas elípticas (Molniya): se dice que un satélite posee una órbita elíptica, si su movimiento alrededor de la tierra es precisamente una trayectoria elíptica. Este tipo de órbita posee un perigeo y un apogeo.

La órbita geoestacionaria, también conocida como GEO, presenta una serie de aspectos atractivos para las comunicaciones tales como: Las antenas de la estación terrena pueden apuntar al satélite sin necesidad de contar con mecanismos de seguimiento. Aproximadamente, un tercio de la superficie de la tierra es visible desde un satélite (línea de visibilidad directa).

Estos aspectos se han traducido en la realización y explotación de un gran número de satélites GEO especialmente para los servicios de radiodifusión.

La zona útil de cobertura se limita a ángulos de elevación de 5° o superiores dependiendo de las frecuencias de transmisión y de los obstáculos en el suelo.

2.5 Definición de VSAT

VSAT es el acrónimo de Very Small Aperture Terminal, y en sus inicios fue la marca comercial de una pequeña estación terrena de Telcom General en los Estados Unidos (1980). Estas estaciones terrenas son equipos montados que permiten la recepción de datos del satélite, así como transmisión de éste hacia el satélite. Además, se puede definir como terminal, al equipo de usuario final como teléfono, fax, televisión, computadora, etc., que genera o acepta el tráfico que es llevado con las redes VSAT.

VSAT es uno de los productos que ofrece servicios de comunicación con mediana capacidad pero con la ventaja de que es fácil de instalar en cualquier lugar y su instalación está por debajo de \$ 700.

Las redes VSAT no siempre son bien aceptadas por los operadores nacionales de telecomunicaciones, ya que resulta en una pérdida en sus ingresos como resultado de que el tráfico es directamente desviado de la red pública y enviado hacia el satélite; estableciendo una red privada entre diferentes sitios.

2.6 Configuración de una Red VSAT

VSATs está conectado por enlaces de radio frecuencia (RF) vía satélite y se puede nombrar dichos enlaces de dos maneras: uplink para enlace de la estación terrena al satélite y downlink para el enlace del satélite a la estación terrena. Cada ciclo de estación terrena a estación terrena se le llama saltos.

Satélites Geoestacionarios son usados por las redes VSAT, estos son Satélites que se encuentran orbitando en el plano ecuatorial de la tierra a una distancia de 35,786 km. En esta altitud, el periodo de órbita es igual a la rotación de la tierra como también el movimiento del satélite es en la misma dirección del movimiento de la tierra, esto provoca que el satélite se observe en un punto fijo en el cielo y actúe como un repetidor. Esta distancia también induce una atenuación de la señal en 200 dB tanto en uplink como downlink y un delay de 0,25s (Fig 2.5). Estos satélites están constituidos de una plataforma y un payload (Fig 2.6). La plataforma consiste de subsistemas que tienen la función de proveer potencia eléctrica al satélite a través de paneles solares y baterías, así como también subsistemas de propulsión y control de órbita.

El payload está comprendido por antenas del satélite con equipos electrónicos que amplifican las portadoras del enlace uplink. En la figura 2.6 podemos observar dicha arquitectura. El receptor (Rx) en el satélite está compuesto de un mezclador y un oscilador local que convierte la frecuencia portadora en una frecuencia diferente usada en el downlink . Esto es para permitir que no haya interferencia entre uplink y downlink.

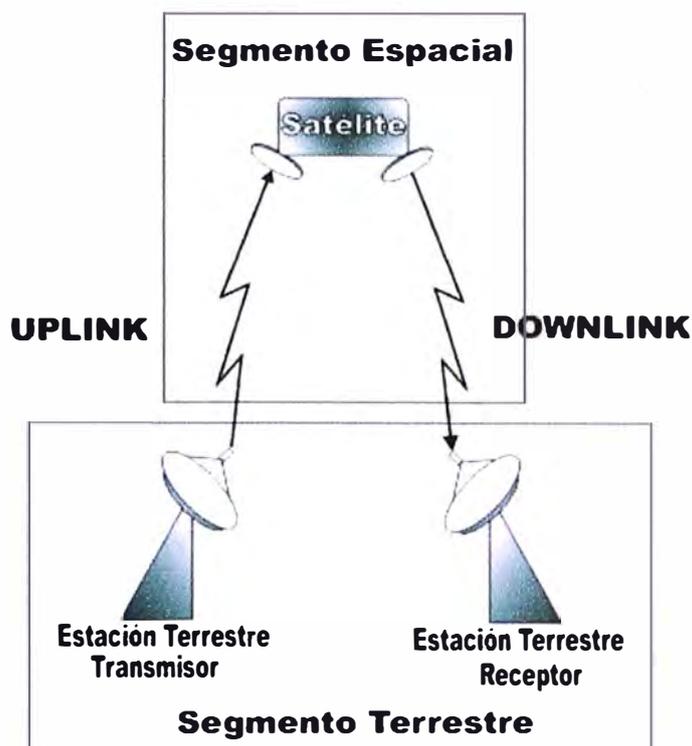


Figura 2.5 Uplink y Downlink

Posteriormente, entran a un input multiplexer (IMUX) que agrupa cada portadora en diferentes sub bandas. Cada uno de éstos es amplificado (no se hace distinción entre portadora uplink y portadora de ruido). Luego, cada grupo de portadoras es combinado en el output multiplexer y enviado para ser transmitido por la antena.

En lo referente a la cobertura de un satélite se puede mencionar cuatro Tipos:

Cobertura Global: El patrón de la antena ilumina una gran porción de la superficie de la tierra y tiene un ancho de haz de $17,4^\circ$.

Cobertura de zona: Un área pequeña que la cobertura global es iluminado el ancho de haz es de 5° .

Cobertura mancha de haz: Un área más pequeña que la cobertura de zona es iluminada. Tiene un ancho de haz de $1,7^\circ$.

Cobertura multihaz: Está compuesto de varias coberturas mancha de haz.

En la elección adecuada de un satélite para un servicio VSAT, debe verse en primer lugar, el posicionamiento del satélite en la longitud de la estación terrestre (esta pueda ser obtenida de la ITU); en segundo lugar, la cobertura del satélite, así como valores de EIRP, y finalmente, debe chequearse el azimut y elevación de todas las estaciones para evitar que haya obstáculo que presente problema para acceder al satélite.

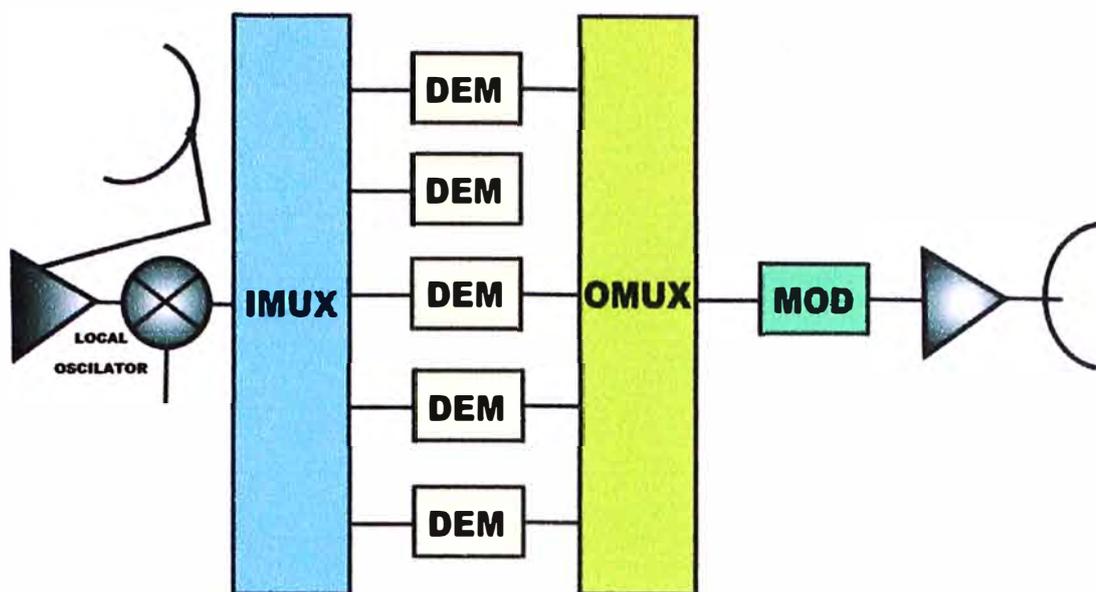


Figura 2.6 Arquitectura Payload (carga útil).

La tabla 2. 3 muestra valores de EIRP para satélites geoestacionarios, dependiendo del tipo de cobertura y banda de frecuencia.

	Tipo de Cobertura	EIRP
Banda C	Global	24 a 30 dBW
	Zona	30 a 36 dBW
	Mancha	36 a 42 dBW
Banda KU	Zona	36 a 42 dBW
	Mancha	42 a 52 dBW

Tabla 2. 3Valores Típicos de EIRP para satélites geoestacionarios

2.7 Elementos de una Red VSAT

Una red VSAT está conformado por estaciones terrestres VSAT y por estaciones terrenas Hubs.

Las estaciones VSAT se pueden separar en dos grandes bloques de equipos: el outdoor unit (ODU) y indoor unit (IDU). El outdoor unit es la interfase del VSAT que va al satélite, mientras que indoor unit es el terminal hacia una red LAN. En la figura 2.7 y figura 2. 8 se puede observar ambas unidades.

ODU está conformado por la antena y módulos electrónicos que contiene el amplificador de transmisión y de recepción, el up-down converter y el sintetizador de frecuencia.

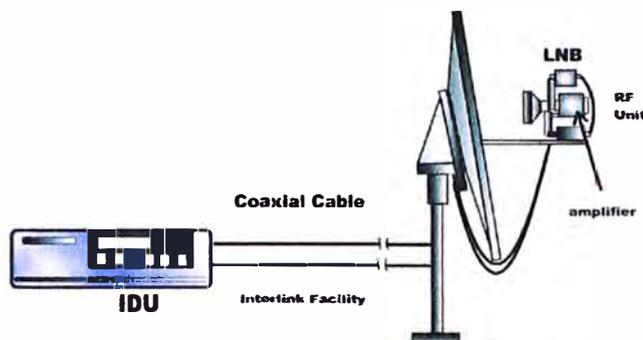


Figura 2.7 Equipos de la estación VSAT

IDU está conformado por moduladores y demoduladores así como puertos para instalar sus terminales al VSAT.

Las estaciones HUBs tienen el indoor unit conectado a una computadora o a una central pública o líneas privadas dependiendo de la funcionalidad que se le quiera dar al HUB.

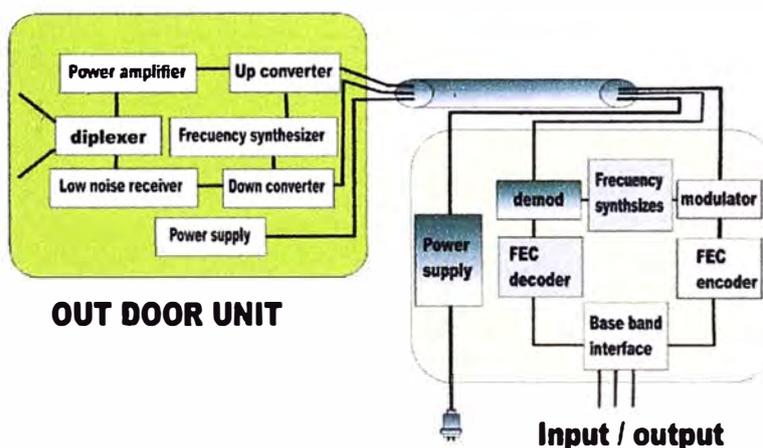


Figura 2.8 Esquema de una estación VSAT

Las estaciones HUB están equipados con NMS (network management system), que es una minicomputadora cuyas funciones operacionales son: proporcionar una reconfiguración de la red dinámicamente por adición o borrado de portadoras o interfaces de red, además incluye un monitoreo y control del rendimiento y estado del hub y estaciones VSAT, y administrativas (se encarga de la seguridad y facturación).

Entre las opciones de HUB que encontramos en el mercado, se puede mencionar: HUB grande, tiene una antena en el rango de 6 –11 m y soporta una gran cantidad de redes simples con la posibilidad de cientos de VSATs conectados a él; HUB compartido, muchas redes separadas comparten un mismo HUB; HUB pequeño, con una antena de 3m – 5 m puede soportar de 300 a 400 VSATs remotos.

2.8 Configuraciones y Topología de una Red VSAT

Existen actualmente dos configuraciones típicas:

Redes en estrella (“Star-shaped networks”).- Es el enlace entre dos o más VSAT’s que requieren de una estación terrena, que actuara como retransmisor, para lograr alcanzar los mínimos requisitos de calidad.

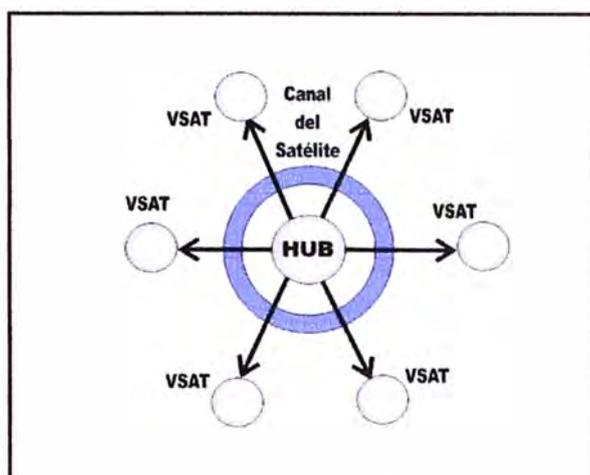


Figura 2.9 Red estrella de una dirección

Presenta problema de retardo, 0,5 s debido al doble salto, pero en cambio necesita antenas de dimensiones reducidas y receptores con una sensibilidad limitada.

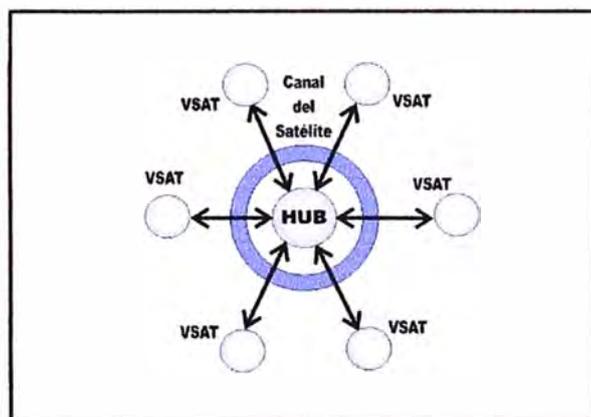


Figura 2.10 Red estrella bidireccional

Redes en malla ("Meshed networks").- Es en el enlace directo entre dos o más VSAT's sin la presencia de una estación retransmisora.

Tiene un retardo de 0,25 s, menor a la red estrella, pero requiere de una antena de gran diámetro así como de una alta sensibilidad en los receptores.

Con respecto a la topología, las redes VSAT pueden ser clasificados en tres Categorías:

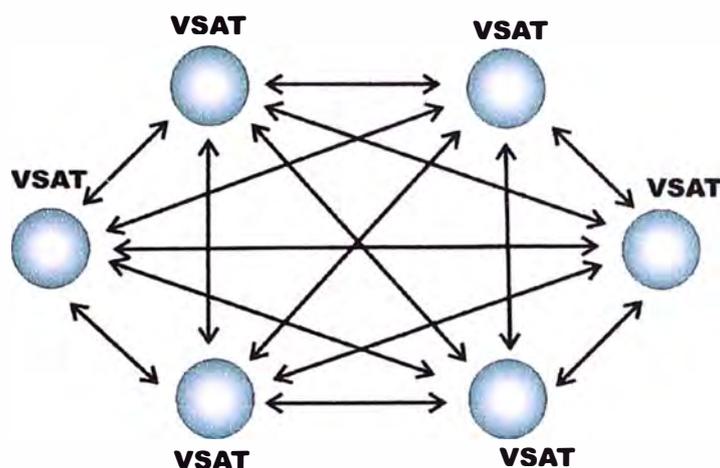


Figura 2.11 Red en malla

Redes Broadcast.- Es también llamada punto-multipunto. "Esta fue una de las primeras en explotar la tecnología VSAT comercialmente. En una red broadcast, una estación hub broadcasts centralizada, paquetiza datos, programas de audio, video, o una combinación de estas para enviarlas a todas o un grupo de receptores remotas VSAT's, las técnicas empleadas para esas redes incluye single channel per carrier (SCPC) y espectro ensanchado"

Redes Punto-Punto.- Esta redes proporcionan voz, datos y transmisión de imágenes entre dos locaciones sin el requerimiento de una estación hub. Una variación es una configuración estrella, en donde el circuito punto a punto es proporcionado de una locación centralizada hacia múltiples locaciones remotas. Esas redes usualmente usan SCPC.

Redes interactivas de dos caminos.- Éstas son las más populares. Estas redes ofrecen un ancho rango de voz, video y servicio de dato de un hub central a un largo número de remotas VSAT en una red estrella. La comunicación entre dos VSAT es posible a través de la estación Hub pero requiere de dos saltos.

2.9 Bandas de Frecuencias

Redes VSAT operan dentro del llamado “fixed satellite service” (FSS), definido dentro del “International Telecomunicación Unión (ITU)”, con una única excepción: cuando los datos es brodcast asociados con televisión o programas de audio, se encuentran dentro del llamado brodcasting satellite service (BSS).

En la siguiente tabla se muestra las bandas de frecuencias más utilizadas:

	Ventajas	Desventajas
Banda C	Utiliza tecnología de menor precio que la utilizada en la banda Ku. Es resistente en presencia de lluvia.	Antenas de gran Tamaño (1.8 a 3 m de Diámetro). Comparte la misma banda de frecuencia que las microondas (se debe usar CDMA)
Banda Ku	Antena de pequeño tamaño (0.6 a 1.8m de diámetro). Uso eficiente de acceso utilizando FDMA o TDMA.	Problema de atenuación debido a la lluvia.

Tabla 2.4 Ventajas y desventajas de las bandas de frecuencias más comunes.

Para las aplicaciones comerciales, son usadas las frecuencias dentro de FSS. Éstas son la banda C y la banda Ku. Además, existe la banda k que es usada a nivel de investigación, y “la banda X que es usada por sistemas militares”.

En el caso de BSS, las posibles bandas que se utiliza es la de 11,7 – 12,5 GHz en la región 1 que tiene como unos de sus integrantes a Perú.

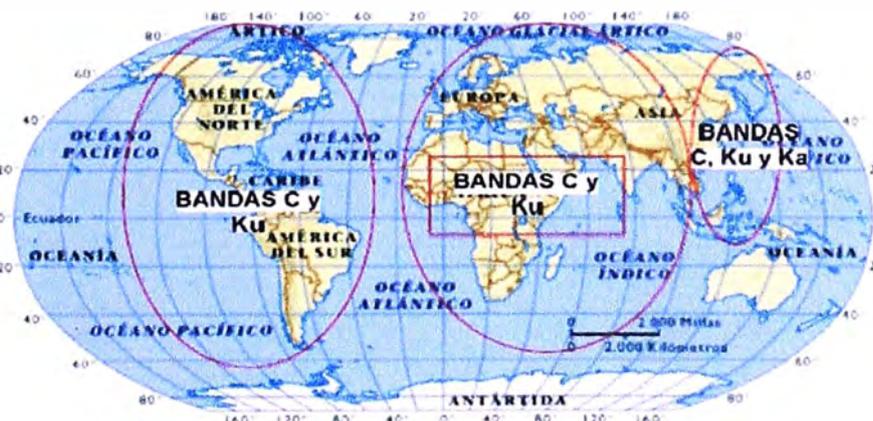


Figura 2.12 Banda de frecuencias y coberturas

Con respecto a la elección adecuada entre la banda C y la banda Ku, esto depende mayormente del costo de la tecnología en dicha banda, además, del aspecto geográfico en donde se colocara la estación. En la tabla 2.4 se detalla las ventajas y desventajas de cada una de las bandas mencionadas.

2.10 Técnicas de Acceso Múltiple al Satélite

En una red de malla, se propone dos técnicas de acceso múltiple al satélite o implementaciones para acceder al medio.

La primera es utilizar una implementación basada en FDMA, por el cual se debe requerir $N-1$ transmisores y $N-1$ receptores en cada VSAT (considerando N como el número de VSAT en una determinada Red). Esto conlleva a que sea muy costosa la red, ya que se necesitaría $N(N-1)$ portadoras y conforme aumente N la red se hará más compleja. La segunda propuesta es implementar TDMA, en donde la conectividad entre todos los VSAT's se lograra utilizando una sola portadora tanto para la transmisión como para la recepción. Cabe decir, que esto también tiene un alto costo y que una comunicación total permanente no es tan necesaria.

En una red estrella, se puede colocar siete implementaciones. Antes de mencionar cada una de ellas, se definirá inbound, outbound, SCPC (Single Channel Per Carrier) y MCPC (Multiple Channels Per Carrier) que serán muy utilizadas en las posteriores descripciones. La primera indica la "transferencia de información desde un VSAT al HUB", la segunda indica la "transferencia de información desde el HUB a un VSAT", la tercera es "el tráfico de una conexión one-way" en donde dicha conexión se refiere en la no competencia de portadoras para acceder al satélite y por lo tanto no hay necesidad de usar ningún protocolo de acceso. Finalmente, la cuarta significa que "muchas conexiones one-way son multiplexadas en el tiempo".

1) FDMA-SCPC inbound/FDMA-SCPC outbound

En el caso de inbound, cada VSAT tiene asignado bandas de frecuencias y empleara una portadora por canal, es decir, multiplexara en frecuencia.

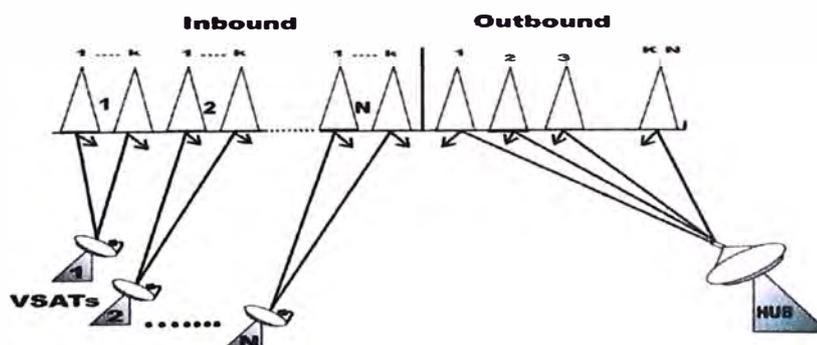


Figura 2.13 FDMA-SCPC inbound/FDMA-SCPC outbound

Esto provocará que la banda inbound ocupe NK portadoras.

En el caso de outbound, el hub utilizara NK portadoras, K para cada estación hub. Entonces, se puede concluir que se necesita k moduladores y K demoduladores en cada VSAT, y de NK moduladores y NK demoduladores en el hub.

2) FDMA-SCPC inbound/FDMA-MCPC outbound

En inbound es semejante al anterior; en outbound existe una reducción de portadoras mediante la multiplexación en el tiempo de los canales de cada VSAT en una portadora (MCPC).

Entonces, ahora se requiere K moduladores y 1 demodulador en cada VSAT; N moduladores y NK demoduladores en el hub.

Una característica de esta configuración es que al tener las portadoras salientes del hub multiplexadas en el tiempo, los moduladores y demoduladores de los VSAT's deben poder adaptarse a diferentes velocidades; además se tiene que al incrementar la velocidad de transmisión del hub se aumenta la potencia de transmisión de este.

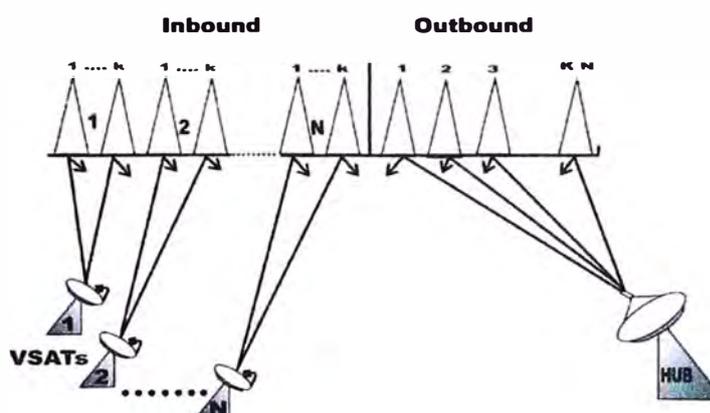


Figura 2.14 FDMA-SCPC inbound/FDMA-MCPC outbound

3) FDMA-SCPC inbound/TDM-MCPC outbound

En el inbound, sigue la misma configuración que en los casos anteriores, pero ahora en el outbound se multiplexa por división en el tiempo los NK canales que transmite el hub.

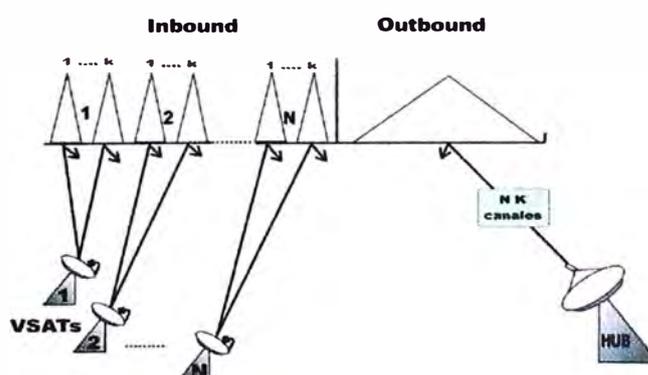


Figura 2.15 FDMA-SCPC inbound/TDM-MCPC outbound

Ahora, se requiere de 1 modulador y 1 demodulador en cada VSAT; 1 demodulador y N demoduladores en el hub.

En esta oportunidad, se requiere K moduladores y 1 demodulador en cada VSAT; 1 modulador y NK moduladores en el hub. Una característica es que el modulador del hub y los moduladores de los VSAT's pueden operar a una velocidad constante igual a la capacidad máxima de la red.

4)FDMA-MCPC inbound / TDM-MCPC outbound

En esta configuración, en el inbound se multiplexa por división de tiempo, el tráfico de tiempo, el tráfico de los K canales de una VSAT en una portadora MCPC, entonces se tiene N portadoras. En el outbound presenta el mismo esquema que la configuración anterior

Ahora, se requiere de 1 modulador y 1 demodulador en cada VSAT; 1 demodulador y n demoduladores en el hub.

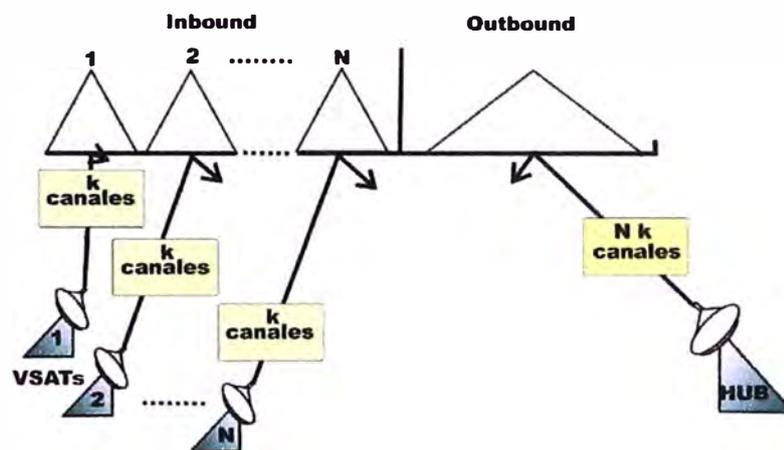


Figura 2.16 FDMA-MCPC inbound/TDM-MCPC outbound

5)TDMA inbound/TDM-MCPC outbound

En el inbound, todos los VSAT comparten esta banda accediendo al satélite en modo TDMA. En el outbound, es semejante al caso anterior.

En esta oportunidad, se requiere de 1 modulador y 1 demodulador en cada VSAT y en el hub.

Una observación que se debe tener es: La capacidad de un enlace de radio frecuencia de una VSAT, es igual al número de bits transmitidos por unidad de tiempo. Si una VSAT emplea un enlace de radio frecuencia con la misma capacidad que con FDMA, debe transmitir a mayor velocidad de bit ($RTDMA = RFDMA \cdot TF / TB$), donde TF es la duración de la trama, y TB es la duración de ráfaga. Por tanto, TDMA requiere más potencia para los transmisores de las VSAT que FDMA. A veces, el incremento de potencia necesario sobrepasa las prestaciones de los VSAT, por lo que será necesario reducir la capacidad del enlace.

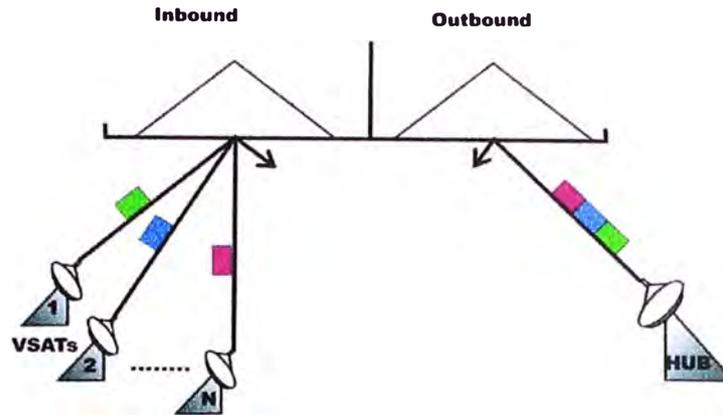


Figura 2.17 TDMA inbound/TDM-MCPC outbound

6) FDMA-TDMA inbound/FDMA-MCPC outbound

Para buscar una reducción de la velocidad de transmisión de bit y por lo tanto también la potencia de los transmisores de VSAT, se debe de agrupar los VSAT's.

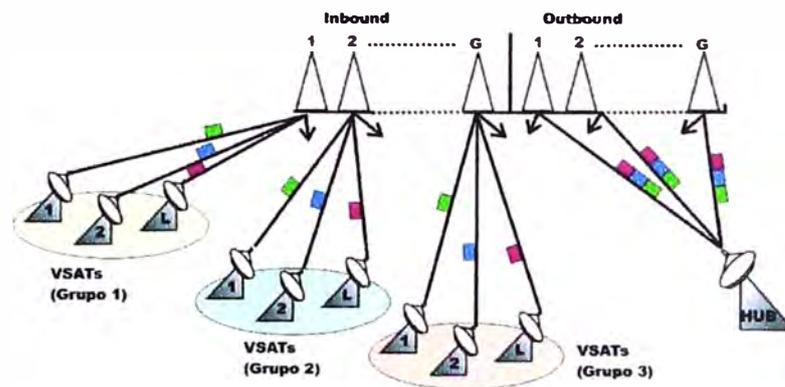


Figura 2.18 FDMA-TDMA inbound/FDMA-MCPC outbound

En el caso de inbound, cada grupo (G grupos) comparte la misma banda de frecuencia (FDMA) y accede al satélite mediante TDMA. En el outbound, toda la información del hub a un mismo grupo se multiplexa por división de tiempo en una portadora MCPC. Estas portadoras acceden al satélite en modo FDMA. La banda outbound tiene también G portadoras. Con esto se logra que la potencia de portadora necesaria por cada VSAT se divida por un factor G.

CDMA

“Existen diferentes configuraciones al poder emplear acceso CDMA total o una combinación de CDMA y FDMA en los enlaces inbound y outbound.

CDMA también se puede combinar con SCPC o MCPC al agrupar los Canales. Con CDMA, a cada portadora se le asigna un código ensanchador pseudoaleatorio, en lugar de una frecuencia, ya que todas las portadoras usan la misma frecuencia central”.

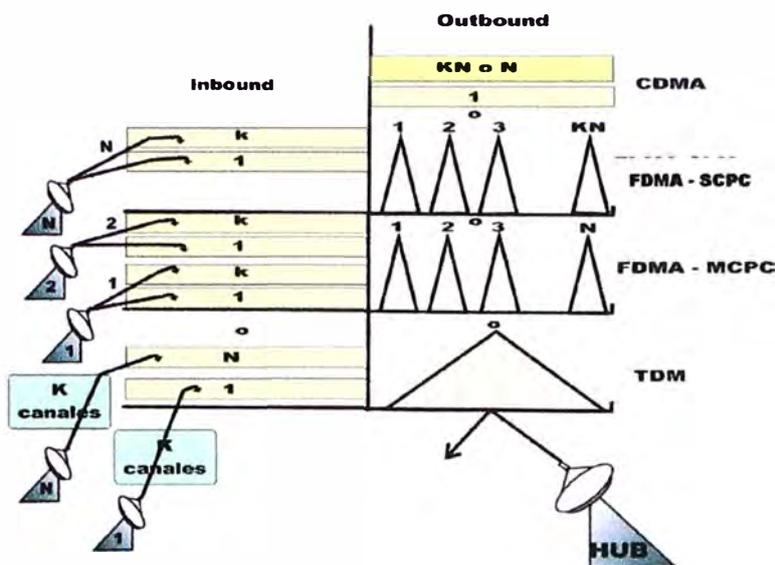


Figura 2.19 CDMA

2.11 Acceso múltiple con asignación por demanda (DAMA)

Este consiste en que, un VSAT recibe una llamada de demanda procedente de uno de los terminales de usuarios asignados a él, que se puede referir a una aplicación en el ordenador anfitrión correspondiente al hub; y un terminal de usuario de otro VSAT de la red.

El VSAT envía una petición al hub a través de un canal de señalización específico inbound, y el hub asigna la capacidad requerida, si es posible, a través de un canal de señalización específico outbound comunicando la asignación de capacidad (frecuencia de portadora, tiempo de slot o código).

El retardo de la respuesta al VSAT llamante será: el tiempo de dos saltos más el tiempo de procesamiento en el hub, si la conexión es entre un terminal de usuario y el ordenador anfitrión; y el tiempo de cuatro saltos más el tiempo de procesamiento del hub, si la conexión es entre dos terminales de usuario, ya que el hub transmite un mensaje de asignación al terminal destino y espera el mensaje de aceptación de llamada.

La asignación por demanda requiere que parte de la capacidad de la red se dedique a señalización de peticiones y respuestas. Para una fácil incorporación de VSATs a la red, se emplea un esquema de asignación del canal de señalización aleatorio.

DAMA con FDMA: Se tiene una red de "N" VSAT's con la posibilidad de transmitir K portadoras. El ancho de banda del transpondedor se divide en L subbandas, donde $L < NK$.

Se produce llamadas bloqueadas debido a que el terminal del usuario no accede a los K canales del VSAT y también porque el VSAT no puede acceder a una de las L subbandas.

DAMA con TDMA: Se tiene L slots, compartidos por N VSAT's, entonces cada una de ellas accede a cualquier slot desocupado.

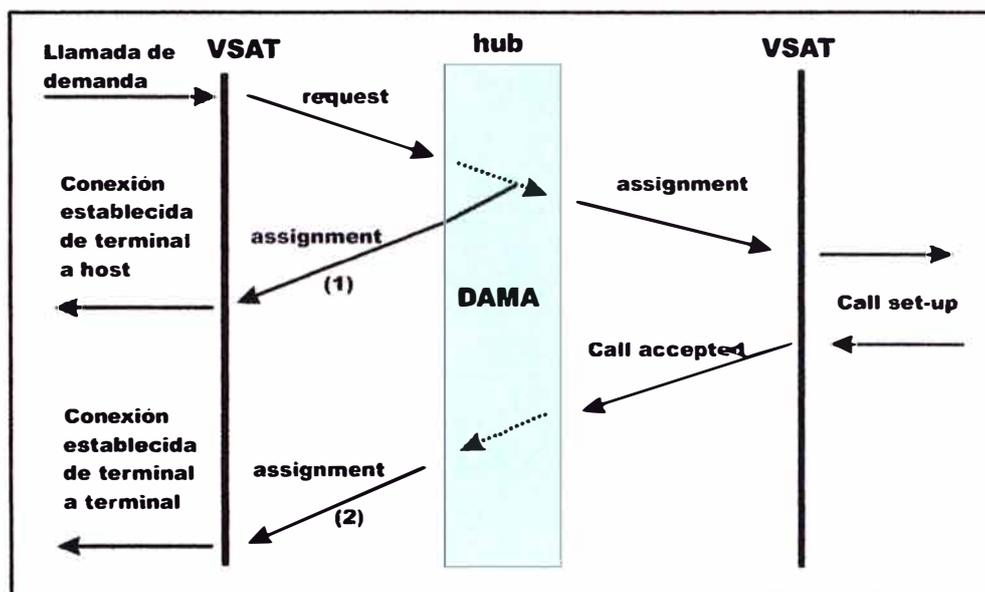


Figura 2.20 Procedimiento de DAMA

2.12 Tipos de comunicación que se puede brindar con VSAT

Los principales servicios que se puede brindar son datos, voz y video; los dos primeros se transmiten en formato digital, mientras que el último puede ser análogo o digital.

Datos.- El rate promedio que ofrece esta en el rango de 50 bps a 64Kbps utilizando interfaces como RS-232; para rates por debajo de 20bps se utiliza RS-242, V35; y X21 para altos bit rates. Para redes LAN, es común utilizar RJ-45".

En la actualidad, las redes VSAT trabajando en plataforma IP brindan servicios de internet de banda ancha (128 Kb hasta 4 Mb), voz sobre IP (voip).

Voz.- El rate promedio está entre 4,8 Kbps a 9,6 Kbps. A menudo, puede ser combinado con datos. Un bajo rate se puede lograr usando vocoders, pero este provoca un delay aproximado de 50 ms.

Video.- En los enlaces outbound, se utiliza NTSC, PAL o SECAM en combinación con modulación FM o también puede ser implementado utilizando DVB-S (Digital Video

Broadcasting by Satellite). En los enlaces inbound, se obtienen poca potencia ya que la transmisión es a un bajo rate.

2.13 Mantenimiento

El mantenimiento se da en equipos que se encuentran a nivel del suelo: hubs y estaciones VSAT's. En los Hub, el mantenimiento es normalmente responsabilidad de los proveedores del servicio de HUB. En los VSAT's, se requiere el menor mantenimiento como fuera posible, buscando mantener un costo bajo.

El principal objetivo de un programa de mantenimiento es proveer un availability aceptable en los equipos a un bajo costo. Availability es la porción de tiempo por el cual los equipos dan un aceptable rendimiento o están operacionales.

El mantenimiento se da mayormente por fallas en los equipos, y es necesario hacer una reparación de ésta. Generalmente, los Hubs emplean equipos redundantes que permite que se provea servicios las 24 horas del día. Esto no es muy económico para las estaciones VSAT's, por lo que se busca en éstas, tener el menor tiempo fuera de servicio. Esto se logra con un availability de 99,99%.

El tiempo promedio de fuera de servicio es calculado con:

$$\text{Tiempo fuera de servicio} = (1-A) 8,760 \text{ horas}$$

En donde, A es availability o disponibilidad, y el valor de 8,760 es por las 24 horas del día operando los 365 días al año.

Algunos valores de fuera de servicio son mostrado en la tabla 2.5 para diferentes valores de a, tanto para todas las horas del año como también para las horas de trabajo (10 horas diarias, 22 días al mes y por los 12 meses al año – 2, 640 horas).

Para calcular availability de diferentes equipos a utilizar:

$$A = \text{MTBF}/(\text{MTBF}+\text{MTTR})$$

Availability	Tiempo fuera de servicio al año	Tiempo fuera de servicio de servicio considerando solo las horas de trabajo
99,99%	0,88	0,26
99,9%	8,76	2,64
99,50%	43,80	13,20

Tabla 2.5 Availability versus tiempo fuera de servicio anual

En donde MTBF es el tiempo promedio entre fallas, y MTTR es el tiempo promedio entre reparaciones; ambos en horas.

2.14 Frecuencias asignadas por la PNAF

Para el Uplink:

Se puede utilizar 14 – 14,5 GHz (Banda Ku) y 5,925 – 6,425 GHz (Banda C).

PNAF lo atribuye a servicio Fijo y Móvil por satélite desde la Tierra hacia el espacio. Hace además algunas recomendaciones:

Las bandas comprendidas entre 10,70 - 11,95 GHz, 12,75 - 13,25 GHz y 13,75 - 14,5 GHz, podrán ser utilizadas para el Servicio Público de distribución de Radiodifusión por Cable, en la modalidad de Difusión Directa por Satélite. En la banda 11,7 - 12,2 GHz, los transpondedores de estaciones espaciales del servicio fijo por satélite pueden ser utilizados. Adicionalmente, para transmisiones del servicio de radiodifusión por satélite, a condición de que dichas transmisiones no tengan una PIRE máxima superior a 53 dBW por canal de televisión, y no causen una mayor interferencia, ni requieran mayor protección contra la interferencia, que las asignaciones de frecuencia coordinadas del servicio fijo por satélite. Con respecto a los servicios espaciales, esta banda será utilizada principalmente por el servicio fijo por satélite.

Las bandas de 4,400 – 5,000 MHz, 5,925 – 6,425 MHz, 6,430 – 7,110 MHz, 7,125 – 8,275 MHz, 10,700 – 11,700 MHz, 12,750 – 13,250 MHz, 14,400 – 15,350 MHz, 17,700 – 19,700 MHz, 21,2 - 23,6 GHz y 37 - 38,6 GHz, pueden ser utilizadas para radio enlaces digitales para la prestación de servicios públicos de telecomunicaciones, según los planes de canalización correspondientes.

Para el Down-link:

Las frecuencias asignadas son 10.7 – 12.75 GHz (banda Ku) y 3.625 – 4.2 GHz (banda C). PNAF atribuye la banda Ku y la banda C a fijo por satélite (espacio – tierra). Algunas recomendaciones:

La utilización de las bandas 4,500 – 4,800 MHz, 6,725 – 7,025 MHz, 10.7 - 10,95 GHz, 11,22 - 11,45 GHz y 12,75 - 13,25 GHz para el servicio fijo por satélite se ajustará a las disposiciones del apéndice 30B del reglamento de radiocomunicaciones de la UIT.

Las bandas de frecuencias de 7,100 – 7,250 MHz, 7,300 – 7,425 MHz, 10,550 – 10,700 MHz y 12,700 – 13,250 MHz, también estarán destinadas a los enlaces fijos y móviles auxiliares a la radiodifusión por televisión. La administración tomará las previsiones necesarias a fin de garantizar la no interferencia con enlaces que no corresponden a enlaces de radiodifusión.

La utilización de las bandas 11,7 - 12,2 GHz, para el servicio fijo por satélite y 12,2 - 12,7 GHz para el servicio de radiodifusión por satélite, está limitada a los sistemas

nacionales y subregionales. La utilización de la banda 11,7 - 12,2 GHz para el servicio fijo por satélite está sujeta a previo acuerdo entre las administraciones interesadas y aquéllas cuyos servicios, explotados o que se explotarán de conformidad con el presente cuadro, puedan resultar afectados.

La banda 12,2 - 12,7 GHz, para los servicios de radiocomunicación terrestre existentes y futuros, no causaran interferencia perjudicial a los servicios de radiocomunicación espacial que funcionen de conformidad con el plan de radiodifusión por satélite para la región 2 que figura en el apéndice 30.

En la banda 12,2 - 12,7 GHz, las asignaciones a las estaciones del servicio de radiodifusión por satélite en el plan para la región 2, que figura en el apéndice 30, podrán ser utilizadas también para las transmisiones del servicio fijo por satélite (espacio-tierra), a condición de que dichas transmisiones no causen mayor interferencia, ni requiera mayor protección contra la interferencia, que las transmisiones del servicio de radiodifusión por satélite que funcionen de conformidad con el plan de la región 2. Con respecto a los servicios de radiocomunicación espacial, esta banda será utilizada principalmente por el servicio de radiodifusión por satélite.

CAPITULO III

APLICACIÓN DE LA TECNOLOGIA SATELITAL

3.1 Introducción

Para efectos de proveer Internet de banda ancha para la localidad rural escogida, teníamos dos tecnologías alternativas adicionales a la satelital, que son la Tecnología CDMA 450 y la tecnología WiMAX; pero la principal desventaja, de ellas es que necesitan de una central de conmutación cercana. Además para ampliar su cobertura requieren de repetidoras (radio enlaces terrestres), ya que eleva sus costos, haciéndolas inaccesibles para las zonas rurales. Por lo cual, hemos optado por la tecnología satelital que es la más apropiada desde el punto de vista técnico económico.

El sistema de comunicaciones satelital, utilizando tecnología VSAT, es un sistema de comunicaciones, Punto a punto (PP), Unidireccional (broadcast, multicast) y Bidireccional (topología estrella). Dependiendo de la aplicación, este sistema se ajusta adecuadamente, tal es el caso de sostener aplicaciones IP y obtener como una aplicación nativa, el Internet de banda ancha. Se considera banda ancha a velocidades iguales o mayores a 128 Kbps, permitiendo esta la transmisión de voz, datos y video. Actualmente los proveedores de Internet Satelital venden sus equipos en Plataforma IP, tal es el caso Gilat Perú, que es uno de los principales proveedores de este servicio.

La finalidad de este capítulo es realizar un análisis completo para el diseño de un enlace satelital con tecnología VSAT, y comprobar si es posible aplicar la tecnología escogida para la localidad de Ubinas, ubicado en la provincia Sánchez Cerro, región de Moquegua con una población de 1800 habitantes. Se encuentra a una altura de 3,400 metros sobre el nivel del Mar.

En la actualidad, existen varios operadores que dan servicios de comunicaciones satelitales, así tenemos: Panamsat, Satmex (Satmex 5, Satmex 6), Intelsat, Hispasat (Hispasat 1A, 1B, 1C, Amazonas1, Amazonas2) y otros. El análisis lo desarrollaremos con el Satélite Mexicano Satmex 5. Dicho análisis estará centrado en proveer conectividad de banda ancha (256Kbps) y en la banda **Ku** a la localidad de Ubinas.

Haremos un análisis teórico del enlace Hub (Lima) con el satélite Satmex 5, y de Satmex 5 con la localidad de Ubinas (Up/Down).

Para efecto de nuestro cálculo, necesitaremos parámetros del satélite escogido, como el PIRE, su posición (longitud), frecuencia de trabajo y otros.

3.2 Características del Satélite Satmex 5

Existen diversos operadores satelitales (Satmex, Panamsat, Intelsat y otros) que proporcionan la cobertura deseada en la región de nuestro análisis, donde pretendemos efectuar el enlace. Para nuestro estudio, tomaremos como referencia al operador satelital Satmex 5, que es uno de los satélites usadas por alguna de las empresas peruanas proveedoras de internet satelital como Gilat, Rural Telecom Perú y otros para proveer internet satelital VSAT en las zonas rurales de nuestro país en la banda Ku.

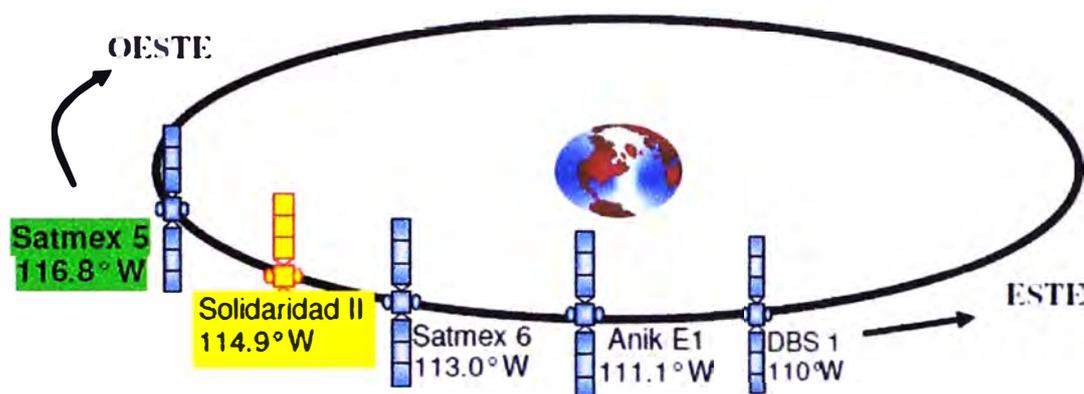


Fig. 3.1 Ubicación de Algunos Satélites Geosíncronos

El SATMEX 5 cuenta con celdas solares de Arseniuro de galio, y nuevas tecnologías en baterías y sistema de propulsión, para lograr operar 24 Transponders de banda C y 24 Transponders de banda Ku de alto poder. Esta gran capacidad en banda Ku permite la transmisión de señales de televisión directa al hogar a antenas menores de 1 metro de diámetro. Su PIRE y sus márgenes de G/T, le dan capacidad suficiente para hacer radiodifusión digital con gran confiabilidad. Además, los haces de cobertura le brindan servicio a casi todo el continente americano. SATMEX 5 fue fabricado por Hughes Space & Communications, en California EUA, lugar en donde se construyeron la primera y segunda generación de satélites mexicanos. En los trabajos de diseño e integración de este satélite, participaron ingenieros mexicanos. La vida útil esperada de SATMEX 5 es de 15 años y fue puesto en órbita por un cohete de Arian Espace.

Satmex 5 fue el primer satélite comercial mexicano lanzado por empresas privadas en 1998. Satmex 5 es un satélite geosíncrono modelo HS 601 HP, único satélite Latinoamericano que ofrece cobertura continental desde Canadá hasta Argentina, en una sola huella satelital (figura 3.2), Satmex 5 transmite con una potencia de 49 dBW en Ku y transporta una carga útil de 24 transpondedores en banda C y 24 en banda Ku de 36 MHz cada uno. Se encuentra ubicado en la órbita 116.8° W.

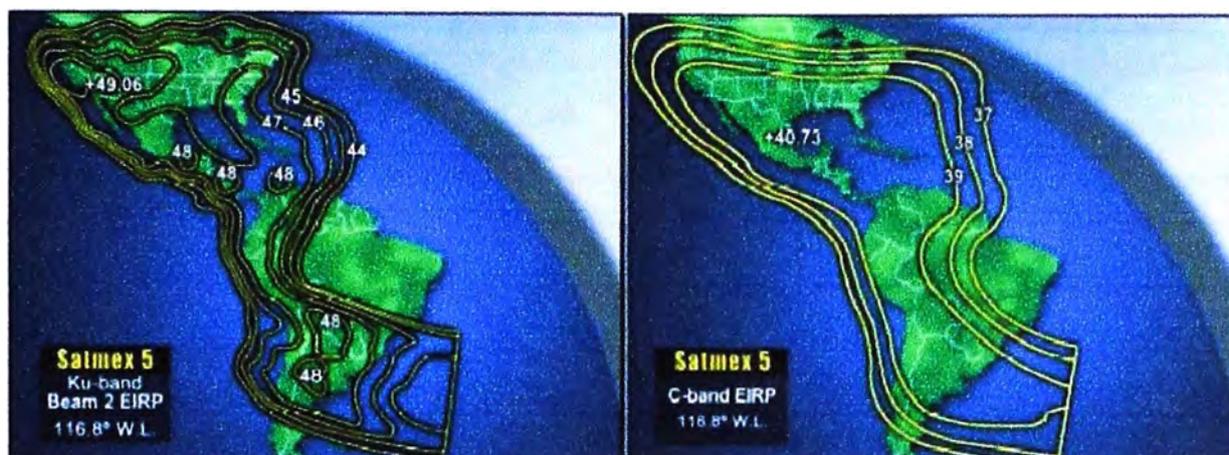


Figura 3.2 Huella Satmex 5 Banda Ku y Banda C

Algunas de las aplicaciones que ofrece Satmex 5 son:

- Servicio de video.
- Servicios de telefonía y datos.
- Servicio de banda ancha (broadband).
- Adicionalmente, Satmex ofrece a través de alianzas con distintos integradores y telepuertos una amplia gama de soluciones de acceso a Internet, redes privadas de voz y datos y servicios de distribución de video, entre otras.
- Capacidad para ofrecer segmento satelital en bandas C y Ku en todo el continente americano.
- Altos niveles de potencia de la flota:
- Gran flexibilidad por región
- Excelentes aplicaciones como video broadcasting, data broadband, acceso a Internet de alta velocidad y telefonía rural, entre otras.
- Soluciones integrales de acceso a Internet de alta velocidad para carriers e ISP's en toda América Latina.

- Tele-medicina.
- Telefonía Rural.

Los programas de acceso universal, a menudo buscan alentar la instalación de teléfonos públicos o centros telefónicos públicos en regiones rurales o de áreas urbanas de bajos ingresos con el objetivo de proporcionarles una conexión básica e inicial a la red.

ESPECIFICACIONES TECNICAS DE SATMEX 5		
Satmex 5	36 MHz Banda C	36 MHz Banda Ku1 y Ku2
PIRE (dBW) en la orilla de la cobertura	39	Ku 1: 49.0 Ku 2: 46.0
G/T (dB/°K) en la orilla de la cobertura	-3	Ku 1: 1.5 Ku 2: -1.5
Densidad de flujo a saturación(SFD) (dBW/m ²)	-93	Ku 1: -93 Ku 2: -95
No. de Transpondedores	24	24
Redundancia	30 TWTAs para 24 canales	32 TWTAs para 24 canales
Rango de atenuación de entrada	0 a 15 dB en pasos de 1 dB	0 a 20 dB en pasos de 1 dB
Inicio de operación	Enero de 1999	
Vida estimada de operación	Más de 15 años	
Cobertura en las principales estados de los E.E.U.U	Los Ángeles, Miami, Chicago, San Francisco, Nueva York, Washington y Houston	Los Ángeles, Dallas, Miami, Nueva York, San Francisco, Washington y Houston.
Cobertura de los principales países de Latinoamérica	Perú, Argentina, México, Venezuela, Chile, América Central y el Caribe.	Ku 1: México, Guatemala y Belice Ku 2: Perú, México, Argentina, Colombia, Chile, Ecuador, Bolivia, América Central y el Caribe

Tabla 3.1 Especificaciones técnicas del Satmex5

Los teléfonos públicos y los centros públicos de telefonía son utilizados en ciertas instancias para asegurar que aun el área más remota o despoblada tenga acceso a servicios de telecomunicaciones.

Por razones fundamentalmente económicas, las receptoras de banda C han sido preferidas por las cadenas de TV comercial y las operadoras de TV por cable, tanto en Latinoamérica, EEUU y Canadá. La cobertura continental de la banda C del Satmex 5, propicia el crecimiento de la cobertura de la televisión por cable y la educación a distancia, a costos competitivos. En la tabla 3.1 se muestra las especificaciones técnicas de Satmex 5.

3.3 Desarrollo del Enlace Satelital

Un enlace satelital, es un enlace entre dos estaciones terrenas utilizando un satélite como repetidor. En el enlace, ambas estaciones actúan como transmisora y receptora, por tal razón existe un enlace de subida que va de la estación terrena transmisora al receptor del transpondedor del satélite ("Uplink"), y un enlace de bajada que va desde el transmisor de transpondedor del satélite hacia la estación terrena receptora ("Downlink"). Para determinar las características de un enlace satelital se toma como dos enlaces independientes el de subida y el de bajada, luego se analiza el enlace total.

3.31 Parámetros necesarios para el desarrollo del enlace.

Para realizar los cálculos del Satmex 5 y la estación remota Ubinas, es necesario conocer algunas características técnicas del satélite, de la estación terrena y la señal a transmitir, entre los más importantes tenemos:

Posición del satélite (longitud).

La densidad de flujo de saturación DFS del satélite, que viene a ser la densidad de flujo necesaria para producir la potencia de saturación a la salida del amplificador del transpondedor del satélite (-92, -93, -95 dbW/m²).

La potencia isotrópica radiada efectiva del satélite, cuando la potencia de salida del mismo es la saturación del amplificador del transpondedor del satélite denominado PIREsat (39, 46, 48 dbW).

La posición geográfica de la estación terrena (latitud y longitud).

La banda de frecuencia a utilizar para determinar la frecuencia media de la banda del enlace de subida y la de bajada (banda Ku).

El ancho de banda a utilizar por la señal, para determinar la utilización del transpondedor en el satélite.

La velocidad de la señal a transmitir (128, 192, 256, 512, 2048 Ksps).

El tipo de modulación utilizado para transmitir la señal (QPSK, BPSK, 8PSK).

El de *Roll Off Factor* el cual determina el ensanchamiento del espectro debido a las características no ideales de los filtros (0.2 típico).

El FEC (Forward Error Correction) que es una característica del modem satelital, depende del tipo de modulación (1/2, 2/3, 3/4, 4/5, 6/7, etc.).

La tasa de error BER *Bit Error Rate* deseada (10^{-7} , 10^{-6}).

La energía de bit a ruido de salida E_b/N_0 que es una característica del enlace satelital (8dB, 10dB).

Diámetro de la antena (1.2m, 1.8m).

Ganancia de la antena transmisora y receptora.

Cálculos iniciales

3.3.2 Apuntamiento de la antena terrestre

Para la estación terrena Ubinas, tenemos que sus coordenadas son: -16.38505° latitud norte y 70.8576° longitud oeste, y del Hub (Lima) sus coordenadas son -12.05° latitud norte y 77.05° longitud oeste y del satélite SATMEX5 cuya longitud es 116.8° longitud oeste, podemos encontrar el azimut y el ángulo de elevación, en el cual la antena de la estación VSAT y el Hub deben estar alineadas hacia el satélite, sustituyendo datos en las ecuaciones E4 y E5 tenemos que:

$Az = 360 - 74.127$ (estación se encuentra en el hemisferio sur y al este del satélite)

$Az = 285.1729^\circ$

Y el ángulo de elevación será:

$E_{U_b} = 34.511^\circ$

Estación	Latitud	Longitud	Angulo de Acimut	Angulo de elevación
HUB(Lima)	-12.05° N	77.05° W	$Az = 284.0910^\circ$	$E_{Li} = 42.3348^\circ$
Ubinas	-16.38505° N	70.8576° W	$Az = 285.1729^\circ$	$E_{U_b} = 34.511^\circ$

3.3.3 Determinación del ancho de banda (BW)

El ancho de banda viene dado en Kilohercio y puede ser calculado mediante la siguiente relación:

$$BW = V \cdot (FEC^{-1}) \cdot F \cdot (1 + R) \quad (E7)$$

En donde:

V = Velocidad de la información

FEC = Factor de código de corrección de error sin canal de retorno, un $FEC \frac{1}{2}$ indica que por cada dos bits, uno es de información y otro es para el código de corrección de errores.

F = Es el factor de modulación para BPSK es 1 y para QPSK es 0.5.

R = Es el factor del *Roll Off* o de ensanchamiento de espectro ($R = 0.2$ típico).

Para determinar el ancho de banda requerido en el enlace, partimos que necesitamos una Velocidad de 256ksps para internet de banda ancha, utilizando modulación QPSK ($F = 0.5$) y un $FEC = \frac{3}{4}$ y factor de Roll Off de 20% tenemos:

$$BW = 256,000 \times (4/3) \times 0.5 \times (1 + 0.2)$$

Por lo tanto, el ancho de banda necesario para este enlace es:

$$BW = 204.8 \text{ KHz}$$

Es necesario adicionar 20 KHz al ancho de banda necesario para evitar interferencias con portadoras adyacentes por lo tanto:

$$BW_{Ocupado} = 204.8 \text{ KHz} + 20 \text{ KHz}$$

$$BW_{Ocupado} = 224.8 \text{ KHz.}$$

Por lo tanto, el ancho de Banda asignado a un valor próximo será:

$$BW_{Asignado} = 256 \text{ KHz}$$

El ancho de banda ocupado es el espacio de frecuencia que utilizaremos para cálculos del enlace.

3.3.4 Calculo de la distancia entre la estación terrena y el satélite

La distancia entre la estación terrena y el satélite se puede determinar, dibujando primero un triangulo con vértices en el centro de la Tierra, en la posición de la estación terrena y el satélite, luego se aplica la ley cosenos y se obtiene la siguiente ecuación:

$$D = \{r^2 + Re^2 - 2rRe \sin(E + \sin^{-1}(Re \cos(E)/r))\}^{1/2} \quad (E 8)$$

Donde:

D = Distancia entre la estación terrena y el satélite

Re = Radio promedio de la Tierra (6,378.155 Km)

r = Distancia promedio del centro de la Tierra al satélite (42,164.2 Km)

E = Angulo de elevación de la estación terrena.

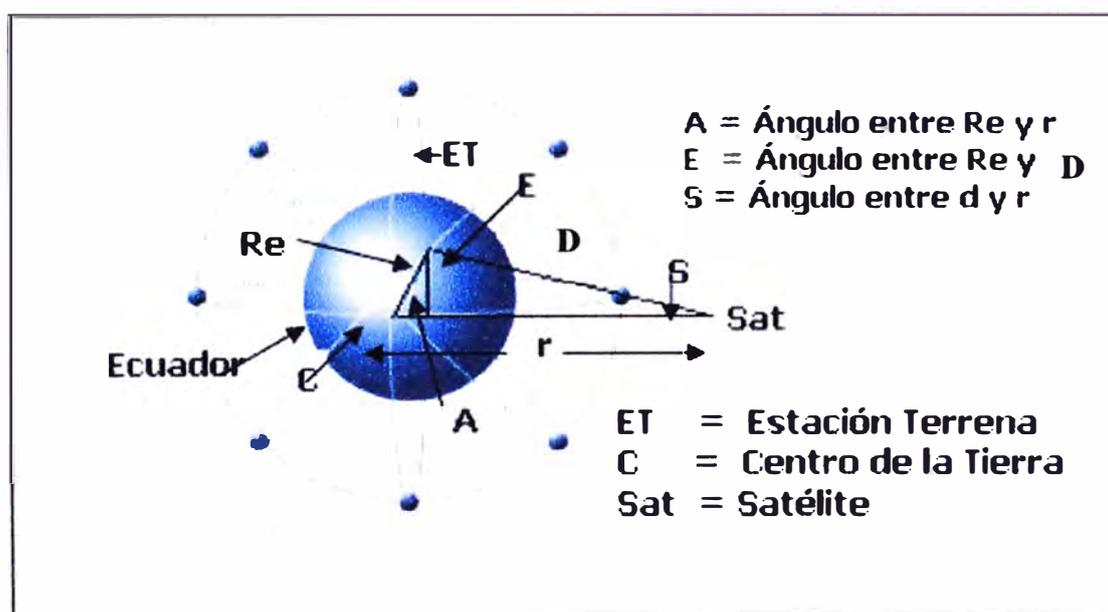


Figura 3.3 Distancia entre la estación terrena y el satélite

Por lo tanto tenemos, que la distancia entre la estación Vsat Ubinas, el Hub (Lima) con el satélite, sustituyendo valores en la ecuación E8 será:

$$D_{Li-Sat} = 37,603.382 \text{ Km (Lima – Satmex 5)}$$

$$D_{Ub-Sat} = 38,487.56852 \text{ Km. (Ubinas – Satmex 5)}$$

3.3.5 Análisis del enlace ascendente

En este enlace, la estación terrena transmisora envía una señal a través de su antena que está apuntada hacia el satélite, por lo tanto, los parámetros involucrados son: el PIRE de la estación terrena (PIRE_{E/T}), la característica G/T de la antena del satélite, las pérdidas de espacio libre, las pérdidas de apuntamiento, perdidas por polarización y perdidas por interferencias. Para el enlace ascendente, desde la estación terrena ubicada en la localidad de Ubinas hacia el satélite, utilizaremos la sigla UP_{Ub}; y para el enlace ascendente entre la estación terrena Lima hacia el satélite utilizaremos la sigla UPLi.

Si analizamos la Relación Portadora a Densidad de Ruido Ascendente del enlace de subida, podemos determinar el valor de la señal que llega al satélite, y esta dado por:

$$[C/N_0]_{UP} = PIRE_{E/T} + (G/T)_{SAT} - K - (L_0)_{UP} - \mu_{UP} - L\Delta_{UP} \quad (E 9)$$

Donde:

PIRE_{E/T} = Potencia Isotrópica radiada efectiva desde la E/T.

(G/T)_{SAT} = Característica del satélite, para la región de interés el satélite SATMEX 5 en la banda Ku tiene un valor de 1.5dB/°K

$$K = \text{Constante de Boltzman} = -228.6 \text{ (dBJ/°K)}$$

L_0 UP = Pérdidas en el espacio libre ascendentes.

μ UP = Margen de atenuación por lluvia ascendente 3 dB, para la disponibilidad de 99.98 en la Banda Ku.

$L\Delta_{UP}$ = Pérdidas misceláneas, es la sumatoria de las pérdidas atmosféricas apuntamiento y polarización, su valor aproximado es de 1 dB.

Potencia isotrópica radiada efectiva de la Estación Terrena (PIRE_{E/T})

Este valor, es calculado a partir de: la potencia de transmisión de la estación terrena, el porcentaje de utilización del transmisor y la ganancia de la antena. Para la estación terrena en la ciudad de Ubinas, con antena de 1.2m, eficiencia 90%, frecuencia media de subida 14.125 GHz (banda Ku), potencia de entrada en la antena de 3W, así como para la estación principal Hub: con antena de 3.7m, eficiencia 70%, y la potencia de entrada en la antena de 8W (80%); tenemos que:

$$PIRE_{E/T} = 10 \log P_T + G_{TdBi} \quad (E10)$$

Donde:

P_T = Potencia de entrada en la antena (W)

G_{TdBi} = Ganancia de la antena transmisora (dBi)

$$G_{TdBi} = 10\log(\eta) + 20\log(f) + 20\log(d) + 20.4dB \quad (E11)$$

Siendo:

η = Eficiencia de la Antena

D = Diámetro de la Antena (metros)

f = Frecuencia Operativa (GHz)

Reemplazando:

$$G_{TdBi} = 10\log(0.9) + 20\log(14.125) + 20\log(1.2) + 20.4$$

$$G_{TdBiUb} = 44.5258dB \text{ (Ubinas)}$$

$$G_{TdBiLi} = 10\log(0.7) + 20\log(14.125) + 20\log(3.7) + 20.4$$

$$G_{TdBiLi} = 51.393dB \text{ (Hub)}$$

Entonces, $PIRE_{E/Ub} = 10\log(3) + 44.5258$

$$PIRE_{E/Ub} = 49.297dBw \text{ (Ubinas)}$$

$$PIRE_{E/Li} = 10\log(8) + 51.393$$

$$PIRE_{E/Li} = 60.4238dBw \text{ (Hub)}$$

Este valor, podemos variar aumentando la ganancia de la antena o la potencia del transmisor, según lo requiera el diseño.

Pérdidas en el espacio libre ascendente:

$$L_{OUP} = 20\log(D) + 20\log(f) + 92.5dB \quad (E12)$$

Siendo:

f = Frecuencia ascendente (GHz)

D = Distancia entre la Estación Terrena y el Satélite (Km)

Para el enlace ascendente entre la estación terrena Hub y el satélite, utilizaremos la frecuencia media de la banda Ku (14.125 GHz), y la distancia de la estación terrena Hub y el satélite obtenido anteriormente (37,603.383 Km), reemplazando estos valores en la ecuación (E11) tenemos que

$$L_{O_{UPLi}} = 20\log(37,603.383) + 20\log(14.125) + 92.5dB$$

$$L_{O_{UPLi}} = 207.004dB$$

Para el enlace ascendente entre la estación terrena en la ciudad de Ubinas y el satélite, utilizaremos la frecuencia de operación media de la banda Ku para transmisión, es decir, 14,125 MHz. De cálculos anteriores, obtuvimos la distancia de la estación terrena de Ubinas, y el satélite, que es de 38,487.56852 Kms; sustituyendo estos valores en la ecuación (E11) obtenemos:

$$L_{O_{UPUb}} = 20\log(38,487.56852) + 20\log(14.125) + 92.5dB$$

$$L_{O_{UPUb}} = 207.206dB$$

Con los valores calculados anteriormente, podemos calcular la relación portadora a densidad de ruido ascendente, para el enlace Hub (Lima) y el satélite, así como de Ubinas y el satélite (U_p); reemplazando los datos en la ecuación E9 tenemos:

$$[C/No]_{UpLi} = (60.4238 + 1.5 - (-228.6) - 207.004 - 3 - 1) \text{db-Hz}$$

$$[C/No]_{UpLi} = 79.5198(\text{db-Hz})$$

Para el enlace Ubinas y el Satélite Satmex5:

$$[C/No]_{UpUb} = (49.297 + 1.5 - (-228.6) - 207.206 - 3 - 1) \text{db-Hz}$$

$$[C/No]_{UpUb} = 68.191(\text{db-Hz})$$

La Relación portadora a ruido ascendente está dada por:

$$(C/N)_{Up} = [C/No]_{Up} - 10 \log(BW) \quad (E13)$$

$$(C/N)_{UpLi} = 79.5198 - 10 \log(224.8 \times 10^3) = 26.002 \text{dB (Hub)}$$

$$(C/N)_{UpUb} = 68.1910 - 10 \log(224.8 \times 10^3) = 14.673 \text{dB (Ubinas)}$$

3.3.6 Análisis del enlace descendente

En el enlace descendente, el satélite retransmite la señal que ha recibido de la estación terrena transmisora a través de su antena. Esta señal es captada por la antena de la estación terrena receptora. Los parámetros involucrados son: el PIRE del satélite hacia la localidad receptora, $PIRE_{SAT}$, la característica G/T de la antena de la estación terrena receptora, las pérdidas en el espacio libre, las pérdidas de apuntamiento, polarización y las pérdidas por interferencias.

La relación portadora a densidad de ruido del enlace descendente (Down), sin tomar en cuentas las interferencias, es similar a las que se analizó en el enlace ascendente, por lo tanto viene dado por:

$$[C/No]_{Down} = PIRE_{SAT} + (G/T)_{ET} - K - (LO)_{Down} - \mu_{Down} - L\Delta_{Down} \quad (E 14)$$

Donde:

$PIRE_{SAT}$ = Potencia Isotrópica radiada efectiva desde el satélite.

$(G/T)_{ET}$ = Característica de la estación terrena receptora.

K = Constante de Boltzman = -228.6 (dBj/°K)

LO_{Down} = Pérdidas en el espacio libre descendentes.

μ_{Down} = Margen de atenuación por lluvia ascendente 3 dB para la disponibilidad de 99.98 en la Banda Ku.

$L\Delta_{Down}$ = Pérdidas misceláneas, es la sumatoria de las pérdidas atmosféricas, apuntamiento y polarización; su valor aproximado es de 1 dB.

Como vemos en la figura 3.2, la huella del satélite SATMEX 5, el PIRE para la región del Perú es 48 dBW en la banda Ku. La figura de merito de las estaciones terrenas (G/T)

está determinada por características de recepción de la antena de 1.2m, la cual tiene un valor de 17.5 dB°K y para la antena de 3.7m tiene un valor de 27.3 dB°K para la estación terrena.

Los valores de pérdidas por espacio libre del enlace descendente se calculan de la misma forma en que se calcularon las del enlace ascendente, únicamente varía la frecuencia de transmisión.

Pérdidas en el espacio libre descendente, tenemos que:

$$L_{O_{Down}} = 20Log(D) + 20log(f) + 92.5dB \quad (E15)$$

Siendo:

f = Frecuencia descendente (GHz)

D = Distancia entre Satélite y la Estación Terrena (Km)

Para el enlace descendente de la estación terrena Hub y el satélite, utilizaremos la frecuencia central 11.98875 GHz, por lo tanto la frecuencia en la que el satélite transmitirá hacia la estación terrena (enlace descendente).

$$L_{S_{DownLi}} = 20Log(37,603.382) + 20log(11.98875) + 92.5dB$$

$$L_{S_{DownLi}} = 205.58dB$$

Enlace descendente Satmex5 y la estación terrena Ubinas tenemos:

$$L_{S_{DownUb}} = 20Log(38,487.56952) + 20log(11.98875) + 92.5dB$$

$$L_{S_{DownUb}} = 205.781dB$$

Con los valores calculados anteriormente, podemos calcular la relación portadora a densidad de ruido descendente, para el enlace entre el satélite y la estación terrena de Ubinas (Down).

$$(C/N_O)_{DownLi} = (48 + 27.3 - (-228.6) - 205.58 - 3 - 1)dB-Hz$$

$$(C/N_O)_{DownLi} = 94.32dB-Hz.$$

Enlace descendente Satmex5 y la estación terrena Ubinas tenemos:

$$(C/N_O)_{DownUb} = (48 + 17.5 - (-228.6) - 205.781 - 3 - 1)dB-Hz$$

$$(C/N_O)_{DownUb} = 84.319dB-Hz.$$

La relación portadora a ruido para el enlace descendente entre el satélite y la estación terrena Hub está dada por:

$$(C/N)_{DownLi} = (C/N_O)_{DownLi} - 10log(BW) = 94.32 - 10log(224.8 \times 10^3)$$

$$(C/N)_{DownLi} = 40.80dB$$

Enlace descendente Satmex5 y la estación terrena Ubinas tenemos:

$$(C/N)_{DownUb} = (C/N_O)_{DownUb} - 10log(BW)$$

$$(C/N)_{DownUb} = 84.319 - 10log(224.8 \times 10^3)$$

$$(C/N)_{DownUb} = 30.801dB$$

3.3.7 Calculo del enlace total

Para obtener el enlace total tenemos que tener en cuenta todas las interferencias posibles. A continuación, se mencionan los tipos de interferencia más importantes en los enlaces satelitales con el fin de estudiar sus consecuencias y la forma de atenuar sus efectos.

Interferencias que afectan el enlace satelital

Interferencia de satélites adyacentes

Esta es provocada por los lóbulos laterales de las antenas, tanto de los satélites como de las estaciones terrenas. En el caso del enlace ascendente, la interferencia es provocada por una estación terrena ajena que apunta su haz principal hacia otro satélite, pero su lóbulo lateral tiene cierto nivel que se manifiesta en el satélite del enlace de interés, es decir, afecta el enlace ascendente.

Interferencia por polarización cruzada

Esta es producida por polarizaciones ortogonales, y no existe una adecuada discriminación entre un tipo de polarización y otro, por tal razón su efecto puede ser disminuido utilizando antenas de buena calidad, se puede utilizar antenas tipo bocina reflectora. La discriminación de polarización cruzada de una antena es la relación entre la potencia recibida con la polarización elegida, para ser utilizada y la potencia recibida, colocando esta misma antena con la polarización ortogonal a la elegida sin variar la fuente de la señal.

Interferencia de intermodulación

Esta interferencia se produce cuando el TWTA (Amplificador de ondas progresivas) del satélite amplifica múltiples portadoras a la vez, como en el caso de la técnica de acceso FDMA (acceso múltiple por división de frecuencia) y el TWTA se utiliza cerca del punto de saturación. Se minimiza utilizando el BOO (Output Back Off) del TWTA o utilizando solo una portadora por transpondedor, como puede ser el caso con la técnica de acceso TDMA (acceso múltiple por división de tiempo).

Interferencia terrestre

Es producida por los enlaces terrestres que operan en la banda satelital, como sucede cuando se utiliza la banda C. Esta interferencia depende de la potencia y la densidad espectral de la portadora. Este tipo de interferencia se puede reducir realizando una adecuada selección del sitio donde se va a instalar la estación terrena, utilizando un blindaje apropiado. Esta interferencia se reduce a la mínima expresión, si las estaciones VSAT operan en la Banda Ku, la contraparte de esta banda, es la atenuación por lluvia, porque la longitud de onda se confunde con el tamaño de gota de lluvia.

Considerando todas las posibles fuentes de interferencia en el enlace ascendente, la relación portadora a ruido ascendente total está dada por la ecuación:

$$[C/N]_{UpTotal} = 10 \log (1/(A+B+C+D)) \quad (E 16)$$

Donde:

$$A = 1/\text{antilog} \{(C/N)_{Up}/10\}$$

$$B = 1/\text{antilog} \{(C/I)/10\}$$

$$C = 1/\text{antilog} \{(C/X_{Pol})/10\}$$

$$D = 1/\text{antilog} \{(C/X_{Satady})/10\}$$

Para el satélite Satmex 5, tenemos valores típicos para efectos de cálculo:

$$C/I \text{ Intermodulación ascendente} = C/I = 35.00 \text{ dB}$$

$$C/X \text{ Polarización cruzada ascendente} = C/X_{Pol} = 29.00 \text{ dB}$$

$$C/X \text{ Satélite adyacente ascendente} = C/X_{Satady} = 39.00 \text{ dB}$$

Sustituyendo los valores típicos y los resultados obtenidos anteriormente, la relación portadora a ruido ascendente total entre el Hub y el satélite es igual a:

$$[C/N]_{UpTotalLi} = 27.485 \text{ dB}$$

De la misma manera, se tiene la ecuación para el enlace descendente total:

$$[C/N]_{DownTotal} = 10 \log (1/(A'+B'+C'+D')) \quad (E 17)$$

Donde:

$$A' = 1/\text{antilog} \{(C/N)_{Down}/10\}$$

$$B' = 1/\text{antilog} \{(C/I)/10\}$$

$$C' = 1/\text{antilog} \{(C/X_{Pol})/10\}$$

$$D' = 1/\text{antilog} \{(C/X_{Satady})/10\}$$

Para el satélite Satmex 5, tenemos valores típicos para efectos de cálculo:

$$C/I \text{ Intermodulación descendente} = C/I = 18.00 \text{ dB}$$

$$C/X \text{ Polarización cruzada descendente} = C/X_{Pol} = 30.00 \text{ dB}$$

$$C/X \text{ Satélite adyacente descendente} = C/X_{Satady} = 28.00 \text{ dB}$$

Reemplazando los valores típicos y los resultados anteriormente obtenidos, tenemos que la relación portadora a ruido total entre Satmex5 y Ubinas es igual a:

$$[C/N]_{DownTotalUb} = 16.294 \text{ dB}$$

3.3.8 Análisis del enlace total

En este punto, se calcula la relación C/N TOTAL, es decir, la resultante de la combinación entre el enlace ascendente total y el enlace descendente total. Además, calcularemos la relación C/N Necesaria ((C/N)_{NEC}) que depende de las características del módem satelital y de la señal de comunicaciones; como es para el caso de nuestro análisis proveer internet banda ancha (256 Kbps).

Al comparar a la C/N TOTAL con la C/N NECESARIA, obtenemos el valor del Margen del enlace que nos indicará finalmente, si nuestro enlace cumple o no con la calidad deseada en el diseño del enlace.

$$[C/N]_{TOTAL} = 10 \log (1/(A^* + B^*)) \quad (E 18)$$

Donde:

$$A^* = \text{antilog } (((C/N)_{UpTotal})/10)$$

$$B^* = \text{antilog } (((C/N)_{DownTotal})/10)$$

Sustituyendo valores tenemos:

$$[C/N]_{TOTAL} = 15.975 \text{dB}$$

Calculo de la relación de portadora a ruido necesario

Se refiere al valor de relación portadora a ruido necesario para que el enlace satisfaga sus requerimientos, y está en función del ancho de banda (BW), velocidad de la información (V_{linf}), E_b/N_0 ($E_b/N_0=10$ para un BER 10^{-7}) y la relación a ruido y está dada por:

$$[C/N]_{NEC} = E_b/N_0 + 10 \log 10 \log (V_{\text{linf}}) - 10 \log (BW) \quad (E 19)$$

Reemplazando valores tenemos que la relación portadora a ruido requerida para este enlace será:

$$[C/N]_{NEC} = 10 + 10 \log(256,000) - 10 \log(224,800)$$

$$[C/N]_{NEC} = 10.564 \text{dB}$$

3.3.9 Calculo del margen del enlace

El margen del enlace es la diferencia entre la señal propuesta para el enlace y la señal requerida por el sistema. El margen del enlace debe ser mayor a cero o cuando menos igual a cero. En caso de que el margen sea negativo, quiere decir, que nuestro enlace no corresponderá a la tasa de bits erróneos planteada como condición inicial de diseño. Si el margen es inferior al esperado, incrementaremos la PIRE de E/T propuesta inicialmente, y recalcularemos nuevamente, hasta lograr el margen del enlace que nosotros hayamos fijado como condición del diseño del enlace.

Y esta dada por:

$$ME = (C/N)_{TOTAL} - (C/N)_{NEC} \quad (E 20)$$

Reemplazando valores obtenidos anteriormente tenemos:

$$ME = 15.975 - 10.5644$$

$$ME = 5.411 \text{dB}$$

Este resultado nos indica y garantiza que según nuestros cálculos, el enlace se puede llevar a cabo, implementarlo y satisfacer las necesidades para las cuales fue diseñado.

CAPITULO IV

IMPLEMENTACION Y EVALUACION ECONOMICA.

4.1 Implementación de la estación VSAT

Después de realizar y verificar los enlaces ascendente y descendente de la estación Vsat (Ubinas) con el satélite Satmex, 5 y el Hub, se obtuvo como resultado margen del enlace positivo, este valor nos indica que podemos llevar a cabo el enlace y podemos implementarlo.

Implementación de estación VSAT en la localidad de Ubinas

La estación terrena VSAT a implementarse en la localidad de Ubinas, es como se muestra en la figura 4.1. En dicha localidad se prevé montar un telecentro (cabinas de internet), por lo tanto, los equipos necesarios para lograr este fin son: Antena Parabólica, unidades externas (ODU) como el Feeder (alimentador), BUC (Block Up Converter), LNB (Low Noise Block) como, Unidad Interna (IDU), en este caso se trata del Modem Satelital, elementos de ferretería (base o mástil, trípode, tornillería y otros), cables de datos (UTP), energía, coaxial (RG), conectores, sistema de puesta a tierra y pararrayos.

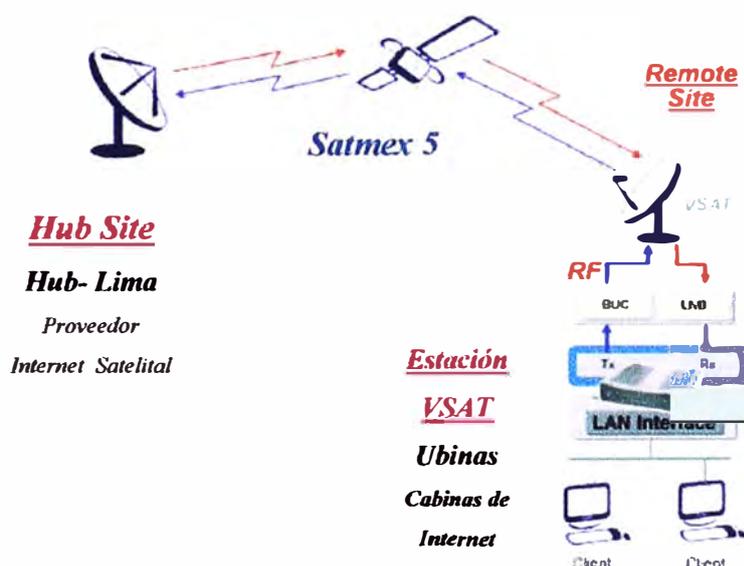


Figura 4.1 Configuración de equipos de la estación VSAT

Existen proveedores de servicios de internet satelital que ofrecen sistemas VSAT (kit satelital), en las que se integran todos los equipos necesarios (ODU, IDU y antena) para este fin.

4.1.1 Equipamiento de la estación VSAT

La Antena Parabólica

La antena es el elemento en la transmisión y recepción de las ondas electromagnéticas. Como dispositivo transmisor, la antena debe convertir los componentes de tensión y corriente de la señal en campos eléctricos y magnéticos para que combinados se propaguen a través de espacio. Por otro lado, durante la recepción la antena debe interceptar los campos magnéticos y eléctricos que constituyen la energía de la señal proveniente de la señal transmitida para reconvertirla en valores de tensión y corriente para su amplificación y demodulación. La antena parabólica es una antena unidireccional. Está compuesta de un elemento radiador o receptor y de un reflector en forma paraboloidal que concentra la energía en un haz denominado foco. Debido a esta característica para la recepción y transmisión de señales vía satélite, cuando mayor sea la superficie reflectora, mayor será la energía que es posible concentrar en la antena; pero mayor será su costo. Debido a las características del modem y porque se va a trabajar en la banda Ku se recomienda utilizar una antena de 1.2 metros. La antena parabólica a utilizar para nuestro proyecto, es una fabricada por la empresa americana Andrew de 1.2 metros de fibra de vidrio reforzado con polietileno. Ésta puede trabajar tanto en la banda C y la Ku. En la siguiente tabla se muestra sus características.

Antena Type 120TX 1.2m RxTx Class I Andrew	
Effective Aperture	1.2 m Band C, 1.2m Band Ku
Operating Frecuency Tx	5.85-6.725GHz Band C, 13.75-14.5GHz Band Ku
Operating Frecuency Rx	3.40-4.200GHz Band C, 10.7-12.75GHz Band Ku
Polarization	Linear, Orthogonal Band C y Ku
Gain (+/-3dbi) Tx	35.9dBi Band C, 43.3dBi Band Ku
Gain (+/-3dbi) Rx	32.0dBi Band C, 41.8dBi Band Ku
Temperature	-50° C to 80° C
Elevation Adjust Range	10° – 90° Continuous Fine Adjust
Azimuth Adjust Range	360° Continuous

Tabla 4.1 Características técnicas de la antena Andrew de 1.2 m



Figura 4.2 Antena de 1.2 m Andrew

Feeder (alimentador o iluminador)

Es un dispositivo que conecta simultáneamente al BUC y al LNB, se encarga de recoger las microondas concentradas en el foco de la superficie parabólica y enviarlas al elemento siguiente, determina la polarización de la antena, polarización lineal (vertical u horizontal), ortogonal, cruzada, y circular (Figura 4.3).



Figura 4.3 Feeder

Modem Satelital

El Modem satelital es el encargado de procesar la señal de internet proveniente de la antena satelital (ODU), a través del cable coaxial. Como su nombre lo dice, realiza tareas de modulación y demodulación de las señales recibidas y enviadas. Además, este dispositivo debe soportar los estándares DVB – S/S2 para el Outbound (OB), el estándar DVB – RCS para el Inbound (IB), los cuales permitirán el transporte de datos IP. En el

mercado nacional, existe gran variedad de modelos y marcas. Para la red VSAT tema de nuestro análisis, hemos optado por el modelo Skyedge II IP de la empresa Gilat.

SkyEdge II IP

Como sabemos, la empresa de Telecomunicaciones Gilat Network, es líder Mundial en comunicaciones rurales, por lo tanto el modem satelital SkyEdge II IP nos garantiza una alta performance para transmisión de información, permitiendo y garantizándonos transmisiones Inbound desde 128 Kbps hasta 6Mbps y para Outbound desde 2Mbps hasta 135 Mbps. Soporta QoS (Calidad de Servicio) para la convergencia de servicios de voz, datos y video; incorpora última tecnología en el estándar DVB-S/S2 y DVB-RCS para comunicaciones IP, aplicaciones como videoconferencia en tiempo real, IP multicast, internet de banda ancha, voip y valor añadido. Puede ser utilizada en redes públicas y privadas. A continuación, mostramos las principales características técnicas del Modem Satelital en la tabla 4.2.

Modem SkyEdge II IP de Gilat	
Ítem	Specifications
Standard(OB)	DVB-S/DVB-S2
Modulación(OB)	QPSK, 8PSK, 16APSK, 32APSK
FEC rate (DVB-S2)(OB)	1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 1/3, 3/4, 9/10
Acces Scheme(IB)	MF-TDMA/DVB-RGS
Modulation(IB)	QPSK, 8PSK
Channel rates(IB)	128Ksps-2.56Msps
Coding	RCS - FEC 1/2, 3/4, 4/5, 6/7
LNB	Estándar TVRO type
Antena size(typical)	Ku: 0.55-1.2m, C: 1.8m
Liner Transmitter ODU	Ku: 2-4W, C or C ext:4-20W
Data Interface	2-4 Ethernet 10/100 Base T
Power Supply	+24 Vdc
Operating Temperature	-40°C to +60°C

Tabla 4.2 Características del modem a utilizar



SkyEdge II IP VSAT (rear view) with Connections Labeled



Figure 1 SkyEdge II IP VSAT (front view)

Figura 4.4 SkyEdge II IP Gilat

El BUC (Block Up Converter)

El bloque convertidor de transmisión, comúnmente conocido como “BUC”, es un dispositivo (ODU) utilizado en la transmisión Uplink de señales de comunicación satelital.

Actúa como interfaz convirtiendo a la banda de frecuencias (RF) de la antena parabólica las señales banda base de los equipos locales conectados al modem satelital (IDU).

Para redes VSAT, comúnmente se utiliza un BUC que funcione en la banda Ku con potencias que varían de 1W a 4W. Existen también para la banda C, son de mayor potencia.

Para nuestra aplicación, utilizaremos el BUC marca JRC modelo NJT5036 de 2 watts, de una alta eficiencia y baja distorsión. Es el mejor que se adapta a los requerimientos de servicio, banda de frecuencias (KU) y potencia. Principales características técnicas se muestran en la tabla 4.3.

BUC 2W Ku Band Model No NJT5036 series	
Ítem	Specifications
RF Frecuency	14.0 to 14.5 GHz (Ku-Band)
Local frecuency	13.05 GHz
IF Frecuency	950 to 1450 MHz
Out Power	2W Linear
Power Supply	+ 24 Vdc
Linear Gain	53 db nom.
IF Connector	N – type, female (50 ohm)
Temperature Range	-40° to +55°C (operating)
Power Comsuption	26 W max

Tabla 4.3 Características técnicas del BUC a utilizar

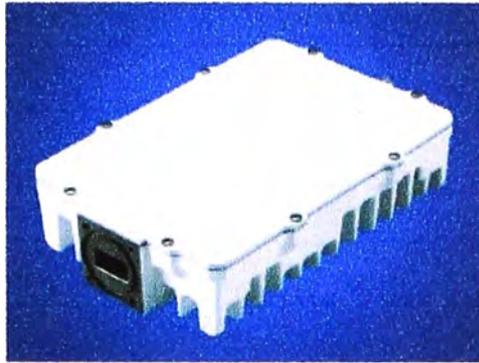


Figura 4.5 El BUC

LNB (Low Noise Blok)

En el enlace descendente del satélite a la estación VSAT, hay pérdidas significativas, aunque las modulaciones elegidas para este servicio necesitan un C/N baja, los niveles de señal recibidos por las antenas vsat requieren de dispositivos con figuras de ruido muy bajas. Los rangos de figura de ruido que se utilizan varían de 01 a 1 dB, para ello se utilizan los amplificadores de bajo ruido.

Existe una variedad de amplificadores como son: el LNA (Low Noise Amplifier), amplificador de bajo ruido, que está compuesto por un sistema amplificador y una guía de onda; el LNC (Low Noise Converter), conversor de bajo ruido. Éste es similar al LNA, la diferencia es que recibe, transmite mediante el mismo dispositivo la señal y la convierte en otra. Y el LNB (Low Noise Amplifier) **bloque amplificador de bajo ruido**, que se compone de un LNA más down/converter en un solo modulo. La fuente de energía eléctrica se suministra por el mismo cable de comunicación (cable coaxial RG-6 o RG-59).

Los LNB se utilizan cada vez con mayor frecuencia porque son la mejor opción, cuando se necesita selección independiente de canales para múltiples receptores. Esto permite realizar diseños simples y a bajo costo. En nuestro existe país hay varios representantes de marcas que proveen LNB, como es la Andrew y otros.

Para nuestro objetivo, utilizaremos un LNB en la banda Ku de la marca Norsat 4208.



Figura 4.6 El LNB

En la tabla 4.4 se muestra las principales características del LNB.

.LNB Norsat Ku Band Model No 4506B series	
Item	Specifications
RF Input Frequency	12.25 to 12.75 GHz(Ku-Band)
Local frequency	13.05 GHz
IF Output Frequency	950 to 1450 MHz
Gain	60 dB typical
Power Supply	+ 15 to 24 Vdc
Noise Figure	0.8 dB.
LO Stability	+/- 150 KHz
Phase Noise	-65dBc/Hz

Tabla 4.4 Características del LNB a utilizar

Después de haber seleccionado adecuadamente los equipos necesarios, el lugar donde se ha de instalar, para ello se requiere un área mínimo de 2 m² y tenga línea de vista hacia el satélite Satmex 5 con orientación 116.8 W. Una vez ubicado el espacio apropiado, se arma la base de concreto. Se empieza con la instalación, se fija y asegura el mástil en la base de concreto, luego se procede a instalar la antena en el mástil quedando como se muestra en la figura 4.7.



Figura 4.7

Luego se procede a configurar el modem satelital (SkyEdge II IP) que tiene interfaz Ethernet (2 puertos RJ-45 10/100Mb), conectamos a un PC (portátil) e ingresamos los parámetros fijados por el NMS HUB del proveedor de Internet Satelital, como es el tipo de modulación (QPSK), el estándar (DVD-RCS), frecuencias de transmisión y recepción (UP/Down), coordenadas de lugar como es para nuestro caso Ubinas (Latitud S 16.38505° y Longitud W 70.8576°) obtenidos con un GPS. Con estos valores utilizando las ecuaciones E4, E5, calculamos el Azimut (285.1729°) y el ángulo de elevación E (34.511°) para proceder con el apuntamiento de la antena hacia el satélite. Una vez orientado correctamente, hacemos pruebas de conectividad con el servidor Web de nuestro proveedor. Después de esta prueba, medimos la velocidad de subida y la velocidad de bajada (asimétrica) en línea como se muestra en la figura 4.8. Finalmente conectamos nuestro modem con el switch, y desde este switch a las computadoras para empezar a navegar. En la práctica, el ángulo de Azimut, elevación y la distancia la obtenemos directamente desde la página de Satmex 5 (www.satmex.com) como se muestra en la figura 4.9.

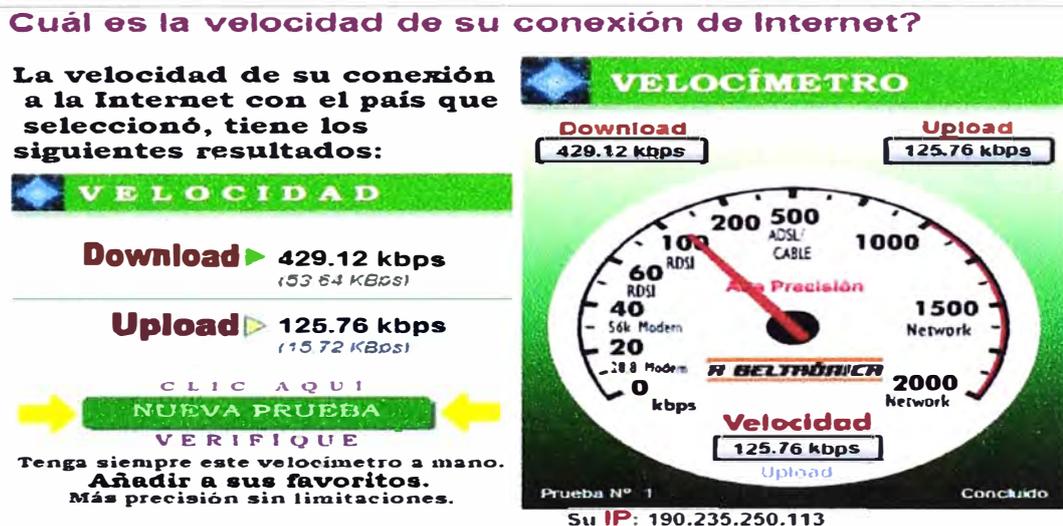


Figura 4.8

4.1.2 Seguridad de Equipos Interiores de una Estación VSAT

Los equipos interiores de la Estación Remota VSAT, están conformados por el Modem Satelital y el switch de datos (parte fundamental del cableado estructurado que permite la conectividad en las PCs de la Estación Remota VSAT).

Convertidor de coordenadas geográficas a ángulos de apuntamiento

Localidad

Pais:

Ciudad:

Coordenadas

Latitud: #U

Longitud: #VV

Satelite

Satélite:

Longitud: #VV

Apuntamiento

Ázmut: = Elevación: =

Distancia: km

Figura 4.9

Cada uno de los equipos de comunicaciones descritos, son parte fundamental del funcionamiento del sistema de conectividad de la Estación VSAT, por tanto, se requiere el sumo cuidado y protección de los mismos, para aprovechar las ventajas que otorga este sistema.

El cuidado se refiere a la limpieza de los ambientes, para evitar la presencia de materiales que produzcan desechos microscópicos (polvo), polución de roedores, insectos, etc. Se debe evitar el derrame de cualquier tipo de líquidos.

Se recomienda el uso de estabilizador de voltaje, de preferencia del tipo ferroresonante y supresor de picos de voltaje garantizados, o en el mejor de los casos contar con un UPS, como protección de los equipos instalados debido a que en algunos lugares rurales donde se encuentran estaciones VSAT, tienen un fluido eléctrico inestable (minicentrales hidroeléctricas , grupos electrógenos) proporcionados por la empresa

eléctricas de sus respectivas zonas, ya que las fluctuaciones de voltaje podrían ocasionar que los equipos se quemen o sufran anomalías en su funcionamiento.

Toda Estación Remota VSAT que se encuentra ubicado en zonas de alta probabilidad de descargas atmosféricas (rayos, truenos, lluvias), deberá tener instalado un Sistema de Pararrayos interconectada a la puesta a tierra del sistema (recomendable menos de 10 ohmios) de equipos.

Los Sistemas de Puesta a Tierra (de equipos y de pararrayos) deberán tener mantenimientos periódicamente, es decir, manteniéndolos siempre húmedos o reactivándolos con dosis química cada 2 a 4 años (según las características propias de dosis química que se utilizaron en su elaboración), con el propósito de mantenerlos en niveles bajos de resistencia. El incumplimiento de este punto, permitirá que el Sistema de Puesta a Tierra se degrade con el transcurrir el tiempo, en consecuencia los equipos informáticos y de Telecomunicaciones estarían desprotegidos ante descargas atmosféricas y a fallas eléctricas.

Se recomienda desconectar todos los equipos electrónicos de las tomas eléctricas, ante la presencia de tormentas eléctricas en el ambiente (rayos, truenos, lluvias intensas), aún así se cuente con un sistema adecuado de pararrayos, ya que no existe un sistema de protección 100% segura ante tales fenómenos atmosféricos, para no correr el riesgo de sufrir daños por fluctuaciones de la energía eléctrica.

4.2 Determinación de Costos del Proyecto

Para determinar los costos del sistema VSAT y la cabina de internet (5 PCs) a implementarse, primeramente se evalúa la cantidad de equipos, mobiliario y servicios que se utilizara en la localidad de Ubinas, los cuales se agrupan en dos rubros Bienes y Servicios:

Servicios:

El cuadro que se muestra a continuación es el resumen de gastos por concepto de servicios del proyecto.

Tabla 4.5 Costos por servicios

DESCRIPCION	Cantidad	P. Unitario	Total
Instalación de la Antena y equipos VSAT	01	650	650
Instalación de base de antena	01	20	20
Instalación de Puesta a Tierra y Pararrayos	01	50	50
Instalación de Cabinas	05	10	50
TOTAL (Dólares)			770

Bienes

El cuadro que se muestra indica la cantidad de equipamiento a utilizar en la localidad de Ubinas y el costo de los mismos.

Tabla 4.6 Relación y costo de equipos y accesorios a utilizar en Ubinas

Equipos y Accesorios	Cantidad	Costo Unitario (Dólares)	Costo Total
Computadoras	05	300	1500
Switch	01	15	15
Mobiliario	05	30	150
Antena de 1.2m mas Feeder y Cable Coaxial	01	280	270
LNB receptor	01	80	80
BUC Transmisor 2W	01	150	150
Modem SkyEdge II IP	01	700	700
Base de la Antena	01	50	50
Kit Puesta a Tierra	01	70	70
Sistema de Pararrayos	01	150	150
Cableado Estructurado	01	100	100
TOTAL(Dólares)			3,235

De ambas tablas, Bienes más Servicios tenemos el gasto total, es decir:

$\$3,235 + \$770 = \$4,005$ (11,414 nuevos soles t.c 2.85).

Calculo de los ingresos

Para estimar los ingresos, determinaremos la cantidad de usuarios potenciales, teniendo en cuenta que la población adulta de esta localidad son en su mayoría de baja formación educacional, entonces los usuarios potenciales de internet estará conformado por estudiantes de primaria, secundaria e instituto.

Tabla 4.7 Cantidad de estudiantes censada en Ubinas según censo 2007 (Fuente INEI)

Localidad	Primaria	Secundaria	Superior	Total
Ubinas	120	140	30	290

Para determinar la cantidad de usuarios, se ha tomado los siguientes criterios:

La población proyectada al año 2010 en esta localidad no ha variado sustancialmente por la migración de los jóvenes en busca de trabajo, estudios superiores o condiciones de vida mejor.

Debido a que no todos los estudiantes tendrán las condiciones económicas para acceder a las cabinas de internet, consideraremos que solo el 50% de la localidad serán usuarios potenciales, por su situación económica. Para efecto de nuestro cálculo, asumiremos que cada uno de estos estudiantes ingresara a la cabina, 2 veces por semana por periodos de una hora.

Tabla 4.8 Usuarios potenciales del servicio y cantidad de horas

Total estudiantes	Usuarios Potenciales	Horas/mes	Total horas por mes
290	145	8	1160

En base a esta información elaboraremos una tabla de ingresos y gastos varios mensuales:

Tabla 4.9 Ingreso de cabinas y gastos varios

Usuarios potenciales	145
Hora mes por usuario	8
Costo por hora	S/. 1.50
Ingreso por mes	S/. 1,740
Gastos varios fijos(Servicio de Internet, luz, y otros) por mes	S/. 1,200
Total utilidad mensual	S/. 540
Total año	S/. 6,480

Con la información anterior podemos asegurar que en los 2 primeros se recuperara la inversión inicial, y partir del tercer año, la cabina de internet le generara utilidades, hay que tener en cuenta que este análisis es para un cliente privado.

4.2.1 Tiempo de Ejecución

Tabla 4.10

Ítem	Cant./días
Transporte de equipos de la Capital Lima a Ubinas	2
Instalación de Estación VSAT(incluye puesta tierra y sistema Pararrayos)	2
Instalación de Cabinas de internet	2
Total días (instalación, configuración, capacitación y pruebas finales)	6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Con el resultado obtenido en el Cap. III, se llegó a la conclusión, que la tecnología satelital VSAT podemos implementarla sin ningún inconveniente y demostrar que es la mejor alternativa para telecomunicaciones en zonas rurales aisladas para internet de banda ancha, tanto en el aspecto técnico y principalmente en lo económico, con respecto a las otras tecnologías existentes mencionadas en el Capítulo I.
2. Para conectividad Banda Ancha para las zonas aisladas, tenemos otras tecnologías alternativas como es el sistema WiMAX y el CDMA 450 quienes también provee conectividad de banda ancha, pero el mayor inconveniente de estas tecnologías es que necesitan la presencia de centrales de conmutación cercanas a ellas y de radio enlaces terrestres para ampliar su cobertura, elevando de manera significativa sus costos para el despliegue de infraestructura de telecomunicaciones, haciendo casi inaccesibles para las zonas rurales o aisladas.
3. La tecnología satelital VSAT tiene innumerables ventajas con respecto a otras, además del fácil transporte, rápida instalación en el sitio, bajo consumo de energía, ocupan poco espacio (apenas dos m²), alta confiabilidad (99.5%), fácil mantenimiento (remoto), son económicas, seguras contra robo y vandalismo a que están expuestas los sistemas que utilizan repetidoras y radioenlaces terrestres.
4. Las redes VSAT en configuración "malla", tienen un bajo retardo de propagación (0.25seg) porque realiza un solo salto, las terminales remotas VSAT tienen un alto costo porque utilizan antenas de mayor tamaño (2-4m) y transmisores de mayor potencia, estas redes se utilizan principalmente para videoconferencia en tiempo real, servicios punto a punto (VSAT a VSAT).
5. De acuerdo a la evaluación económica, podemos asegurar que el proyecto (Cabinas de internet satelital) para la localidad en estudio es rentable, porque a finales del segundo año se recupera la inversión inicial y a partir del tercer año

empieza a generar utilidades, incluyendo la depreciación de equipos (aprox. anual).

6. Al seleccionar el lugar donde se van a instalar la antena y los demás equipos de estación remota VSAT, debe asegurarse que en un futuro no habrá ninguna construcción u obstáculo que pudiera interferir con la línea de vista hacia el satélite, por lo que se sugiere realizar dicha instalación en lugares altos como terrazas o azoteas.
7. Para reducir al mínimo los costos de mantenimiento en las zonas rurales, se recomienda capacitación para el personal de apoyo, y deben participar en el proceso de montaje de equipos de la estación VSAT, posteriormente vía videoconferencia ampliar sus conocimientos. Como resultado de ello, puedan responder ante cualquier imprevisto de la estación VSAT, y brindar un mejor servicio a los usuarios de las cabinas de internet para poder recuperar en el plazo más breve la inversión inicial realizada.

BIBLIOGRAFIA

- [1] “Guía de Tecnologías de Conectividad para Acceso en Áreas Rurales”
Pérez Benítez, Germán UIT Noviembre 2007
- [2] Marlad, Gerad. VSAT NETWORKS. Wiley, 2003.
- [3] Redes y Servicios de Telecomunicaciones
José Huidobro Moya -Thompson Paraninfo 2006
- [4] “Tecnologías para el Acceso Universal”
Osiptel 2003
- [5] McBride, Alan. VSAT maintenance and installation.
- [6] Hamid, A. VSAT Technology, Trends, and Applications
- [7] “Generalidades de las Redes Vsat”
Vélez, Diego. Gilat Satellite Network, 2002
- [8] “PLAN NACIONAL DE ATRIBUCION DE FRECUENCIAS”
Actualizado 22 de diciembre del 2006
- [9] “Configuraciones de una red VSAT”
http://www.upv.es/satelites/trabajos/pract_4/arq/config.htm
- [10] “TDMA inbound / TDM outbound”
http://www.upv.es/satelites/trabajos/Grupo7_99.00/TDMA5.htm
- [11] “CDMA”
http://www.upv.es/satelites/trabajos/Grupo7_99.00/CDMA7.htm
- [12] “Acceso múltiple con asignación por demanda”
http://www.upv.es/satelites/trabajos/Grupo7_99.00/asignad.htm
- [12] “Nuevos Planes Tarifarios”
<http://www.gilat.com.pe>
- [13] Manual: “Calculo de Enlaces Vía Satélite”. Satélites Mexicanos
<http://www.satmex.com.mx>
(Noviembre 2005)