



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E
INFORMÁTICA**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**SISTEMA DE COMUNICACIÓN DE DATOS VÍA
SATÉLITE**

PRESENTADO POR

BACHILLER ALEJANDRO LÓPEZ QUISPE

ASESOR:

ING. JULIAN MANUEL FLORES MANCHEGO

**PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO DE SISTEMAS E INFORMÁTICA**

MOQUEGUA - PERÚ

2019

CONTENIDO

	Pág.
PÁGINA DE JURADO.....	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
CONTENIDO.....	iv
CONTENIDO DE TABLAS	vi
CONTENIDO DE FIGURAS.....	vii
CONTENIDO DE APÉNDICES	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	x

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

2.1 Objetivo general.....	2
2.2 Objetivos específicos.....	2

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.1 Marco teórico.....	3
3.1.1 Fundamentos de comunicaciones satelitales.....	3
3.1.2 Arquitectura de Internet sobre satélite.....	8
3.1.3 Protocolos de control de acceso al canal para comunicaciones satelitales.	12
3.1.4 Posibles escenarios.....	13
3.1.5 Hispasat 1C.....	16
3.1.6 Ángulo de azimut, ángulo de elevación y distancia.	27
3.2 Caso práctico	29

3.2.1 Localización.....	29
3.2.2 Esquema del enlace de subida y bajada considerando las variables de ganancia y perdidas que influyen en el sistema.....	32
3.2.3 Cálculo del enlace.....	33
3.2.5 Consideraciones previas para el diseño del radio enlace satelital.....	33
3.2.6 Geometría del enlace por satélite.....	34
d. Cálculo de relación de energía de bit a densidad de ruido para enlace descendente.....	40
3.2.6.6 Calidad de enlace.....	40
3.2.7 Propuesta de selección de equipos.....	43

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones.....	46
4.2. Recomendaciones.....	47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
APÉNDICES	50
Apéndice A.....	51
Apéndice B.....	52
Polarización y cobertura –Hispasat 1C	52
Apéndice C	53
Resumen de resultados para el enlace satelital	53

CONTENIDO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características del satélite Hispasat 1C.....	17
Tabla 2. Zonas de cobertura América HB.....	22
Tabla 3. Densidad de flujo de saturación para el tranpondedor	23
Tabla 4. Factor de mérito en las zonas HA, HB y HC.....	25
Tabla 5. PIRE del transpondedor satelital.....	26
Tabla 6. Cálculo real del ángulo azimut	28

CONTENIDO DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Red mezclada o combinada	5
Figura 2. Punto - multipunto	6
Figura 3. Red en malla.	6
Figura 4. Red en estrella.....	7
Figura 5. Arquitectura de red de Internet satelital con satélites transparentes	8
Figura 6. Internet satelital basado en la arquitectura OBP e ISL	9
Figura 7. Acceso a Internet a través de DBS.....	10
Figura 8. Roles de red satelital en internet	11
Figura 9. Red satelital punto - multipunto (canal de retorno RDSI)	14
Figura 10. Red satelital TCP - IP con acceso múltiple para canal compartido	16
Figura 11. Cobertura del satélite HISPASAT 1C por zonas	17
Figura 12. Mapa de cobertura.....	21
Figura 13. G/T de acuerdo a la cobertura para América	24
Figura 14. PIRE del transpondedor de acuerdo a la cobertura del satélite	26
Figura 15. Ángulo azimut respecto al norte y ángulo de elevación respecto al horizonte.....	27
Figura 16. Mapa político de Puno.....	30
Figura 17. Península de Capachica, departamento de Puno.....	31
Figura 18. Plaza del centro poblado menor de Llachón – Puno.....	32
Figura 19. Esquema del enlace de subida y bajada considerando las variables de ganancia y pérdidas que influyen en el sistema.....	32
Figura 20. Modelo matemático.....	35
Figura 21. Modem satelital.....	44
Figura 22. Esquema típico de conexión con Modem satelital.....	44

CONTENIDO DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice A. Plan de frecuencias de los transpondedores Hispasat 1C.....	47
Apéndice B. Polarización y cobertura – Hispasat 1C.....	48
Apéndice C. Resumen de resultados para el enlace satelital.....	49

RESUMEN

El presente trabajo de suficiencia profesional titulado “Sistema de comunicación de datos vía satélite” tuvo como objetivo general: determinar el punto de recepción satelital para que el centro poblado menor de Llachón ubicado en la provincia de Puno tenga acceso al servicio de Internet; y como objetivos específicos: determinar las condiciones necesarias para el acceso a internet vía satélite en el centro poblado menor de Llachón. Determinar las características que tendrá la estructura tecnológica para recepción de Internet en el centro poblado menor de Llachón.

Se evaluó las herramientas tecnológicas y su aplicación en un caso práctico a manera de analizar y diagnosticar la calidad de servicio de Internet que se ha de brindar, siendo los resultados obtenidos los siguientes: Si se dispone de 26,99 dBw de potencia desde el transmisor del satélite se logrará una relación de energía de bit a densidad de ruido (E_b/N_0) de 1,42 dB, asegurándose de esta manera una buena calidad de recepción satelital. Con respecto a la calidad del enlace total, la relación portadora a ruido del sistema es de $C/N_{up} = 33$ dB y $C/N_{down} = 10,57$ dB dicho dato nos indica la baja pérdida de señal considerando la distancia entre el satélite y la estación terrena.

Palabras clave: sistema de comunicación, datos vía satélite, diagnostico, estructura tecnológica, transmisor.

ABSTRACT

The present work of professional adequacy entitled "Satellite data communication system" had as general objective: to determine the point of satellite reception for the minor population center of Llachón located in the province of Puno to have access to the Internet service; and as specific objectives: to determine the necessary conditions for the access to Internet via satellite in the minor population center of Llachón. To determine the characteristics that will have the technological structure for reception of Internet in the minor population center of Llachón.

The technological tools and their application in a practical case were evaluated in order to analyze and diagnose the quality of the Internet service to be provided. The results obtained are as follows: If 26.99 dBw power is available from the satellite transmitter, a bit energy to noise density (Eb/No) ratio of 1.42 dB will be achieved, thus ensuring a good quality of satellite reception. With respect to the total link quality, the system's carrier to noise ratio is $C/N_{up} = 33$ dB and $C/N_{down} = 10.57$ dB. This data indicates the low signal loss considering the distance between the satellite and the ground station.

Keywords: communication system, satellite data, diagnosis, technological structure, transmitter.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El avance tecnológico en estos tiempos ha crecido a pasos agigantados, ganando terreno en casi todas las actividades de la humanidad, esto ha motivado que diversas instituciones, ya sean públicas o privadas opten por desarrollar y aplicar dicha tecnología, y con más razón cuando se trata de brindar servicios a la zona rural.

El papel principal que realizan las comunicaciones vía satélite es la de enlazar dos puntos que se encuentran a gran distancia, pero conforme ha avanzado la tecnología las comunicaciones satelitales se han comenzado a utilizar de forma regional e inclusive doméstica, lo que hace a este tipo de comunicaciones una de las de mayor demanda para el futuro.

Con el presente trabajo se pretende resolver las limitaciones que tienen las redes de computadoras para grandes distancias. Uno de estos grandes problemas es el que se relaciona con la accidentada geografía que presenta la región de Puno y, por consiguiente, la limitación de la posibilidad de hacer un tendido de red cableado.

Finalizando el presente trabajo de investigación, se dan las conclusiones y se propone recomendaciones que han de servir como puntos de inicio para una nueva investigación.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Determinar el punto de recepción satelital para que el centro poblado menor de Llachón ubicado en la provincia de Puno tenga acceso al servicio de Internet.

2.2 Objetivos específicos

Determinar las condiciones necesarias para el acceso a internet vía satélite en el centro poblado menor de Llachón.

Determinar las características que tendrá la estructura tecnológica para recepción de Internet en el centro poblado menor de Llachón.

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.1 Marco teórico

3.1.1 Fundamentos de comunicaciones satelitales.

Por definición, una red de datos vía satélite soporta servicios de difusión, tales como la impresión remota de documentos, la mensajería o la difusión de radio (Matinez, 2005).

Pueden ser divididas en dos segmentos: segmento espacial y segmento terrestre. El segmento espacial formado por el satélite y las instalaciones terrestres para el control y monitorización del mismo (Merino, 2006).

Si una red opera con más de un satélite, el segmento espacial está formado por un conjunto de satélites y una o varias estaciones de control encargadas de funciones de gestión, telemetría, mantenimiento, monitorización, etc., también incluye enlaces de comunicación inter-satelital (ISL-inter satélite links). El segmento terrestre formado por todas las estaciones terrestres, los centros de control de red y centros de operación de red (Alcocer, 1998).

Una estación terrestre tiene una antena satelital, en forma de disco usualmente, y otros dispositivos de comunicaciones y software para la transmisión y recepción de señales de los satélites.

Las estaciones terrenas actúan como interfaces de red entre diferentes redes externas y redes satelitales, también realizan conversiones de protocolos, direcciones y formatos. El segmento satelital está compuesto por satélites que se pueden clasificar en satélites GSO (Geostationary Orbit), que se encuentran en posición geoestacionaria, y los NGSO (No Geostationary Orbit), que se encuentran en orbitas más bajas, se incluyen satélites MEO (Médium Earth Orbit) y LEO (Low Earth Orbit) (Muñoz Rodriguez, 2005).

La banda de frecuencia óptima para los sistemas de comunicación satelital es seis Ghz sobre el enlace ascendente y cuatro Ghz sobre el enlace descendente (Couch, 1997).

3.1.1.1 Redes unidireccionales.

Son las redes de comunicación satelital en donde la información es transmitida en una sola dirección, generalmente usando el satélite como un retransmisor de la información que recibe para su distribución (redes de distribución) o de recolección (redes de recolección). Enseguida se describe cada una de ellas.

a. Redes de distribución.

En todas las redes de distribución, la estación central, comúnmente llamada Hub es sólo de transmisión, mientras que las estaciones receptoras cuentan sólo con recepción.

b. Redes de recolección.

Éstas operan de manera contraria a las redes de distribución y son usadas para transmitir datos en un sólo sentido, desde las estaciones terrenas remotas hacia una estación terrena central.

3.1.1.2 *Redes bidireccionales.*

Las redes bidireccionales proveen las aplicaciones más generales de la comunicación satelital. Los tipos de arquitecturas bidireccionales son: enlaces punto - punto, punto - multipunto, malla, estrella y configuraciones mezcladas, como se aprecia en la figura 1.

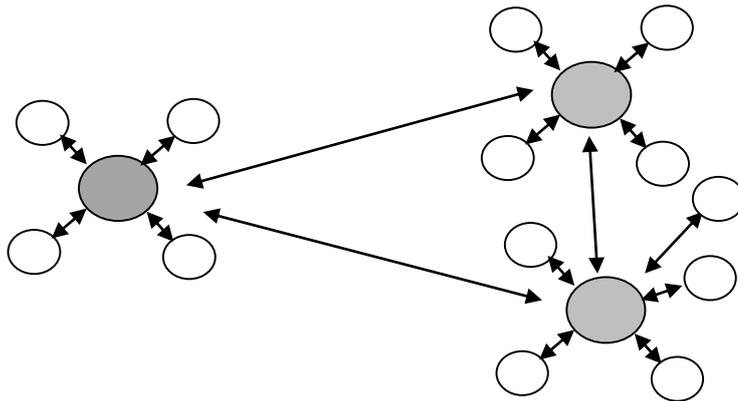


Figura 1. Red mezclada o combinada

Fuente: Elaboración propia

3.1.1.3 *Enlaces punto – punto y punto - multipunto.*

a. *Los enlaces punto – punto.*

Son elementalmente, una conexión bidireccional entre dos estaciones terrestres.

b. *Los enlaces punto – multipunto.*

Se refiere a la conexión recíproca de la red a un número limitado de estaciones terrestres, que son, preferentemente, todas del mismo tipo.

Estos tipos de redes, punto-punto y punto-multipunto, son los tipos de redes más comunes. Sus aplicaciones son: interconexión a centros de comunicación principales para el enrutamiento de alto tráfico telefónico, transmisión de datos de alta velocidad, etc. En la figura 2 se puede apreciar la representación punto – multipunto.

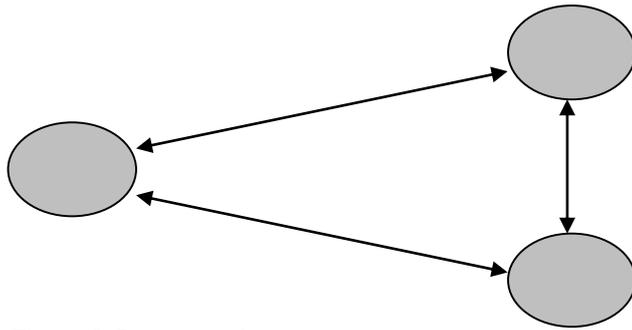


Figura 2. Punto – multipunto

Fuente: Elaboración propia

3.1.1.4 Redes en malla.

Son aquellas redes capaces de interconectarse completamente con un número significativo de estaciones terrenas, generalmente, del mismo tipo. Las redes en malla permiten la interconexión entre centros sin jerarquías.

Cuando son conectadas a redes terrestres, las estaciones terrenas operan como nodos de un sistema de comunicación completo. Sin embargo, si la red es operada en TDMA (Time División Múltiple Access), la estación TDMA de referencia (centro de control central) debe incluir funciones de administración de tráfico, incluyendo asignación de demanda, que juega el rol de intercambio de tránsito.

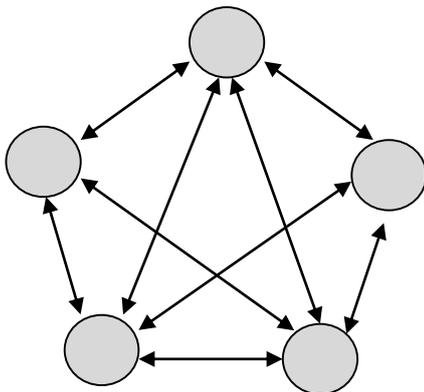


Figura 3. Red en malla.

Fuente: Elaboración propia

3.1.1.5 Redes en estrella.

La arquitectura estrella, que al principio era considerada en redes unidireccionales, cuenta en la actualidad con muchas aplicaciones para redes bidireccionales entre centros jerárquicos. Las aplicaciones principales de esta arquitectura son:

- Telecomunicaciones rurales: se caracterizan por la dificultad para obtener electricidad, falta de personal capacitado, áreas muy aisladas, condiciones ambientales severas, restricciones de costos.
- Comunicaciones corporativas entre una central de procesamiento de datos. Ej. Un ordenador anfitrión y terminales DTE (Digital Terminating Equipment). Así el ordenador anfitrión es conectado al Hub (Estación Terrena Central) y los DTE son conectados a las VSAT.

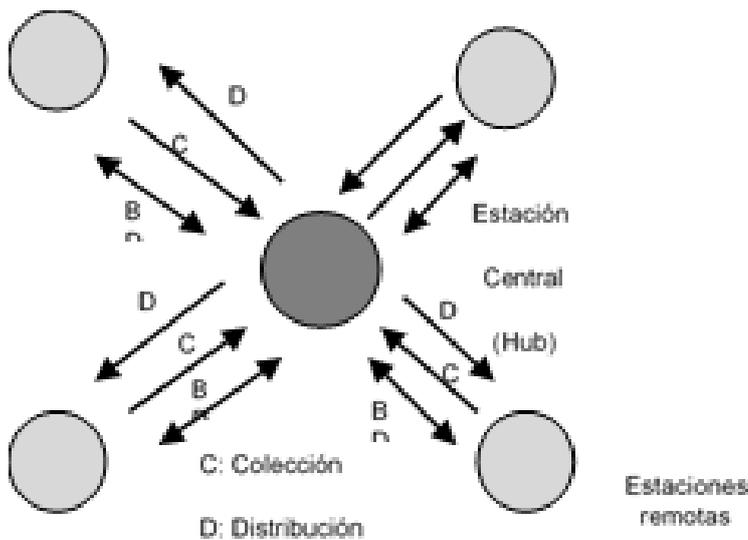


Figura 4. Red en estrella

Fuente: Elaboración propia

Nota: En las figuras anteriores, no se presentan los satélites y las estaciones terrenas que están operando como nodos de comunicación, son representados con círculos.

3.1.2 Arquitectura de Internet sobre satélite.

Según Roldan (2005), se identifican tres tipos de arquitecturas para proveer Internet vía satélite de acuerdo a las consideraciones anteriores:

- Usando satélites bent – pipe.
- Usando satélites con procesamiento a bordo (OBP - On Board Procesing) y enlaces inter satelitales.
- Usando satélites de difusión directa.

Un escenario típico que utiliza satélites bent - pipe, que se muestra en la figura puede implementarse para GSO, MEO y LEO, para proveer acceso a Internet como también servicios de transmisión de datos, pero debido a la falta de enlaces de comunicación en el espacio hay poca eficiencia de espectro y valores grandes de latencia como se observa en la figura 5 (Palmer, 2000).

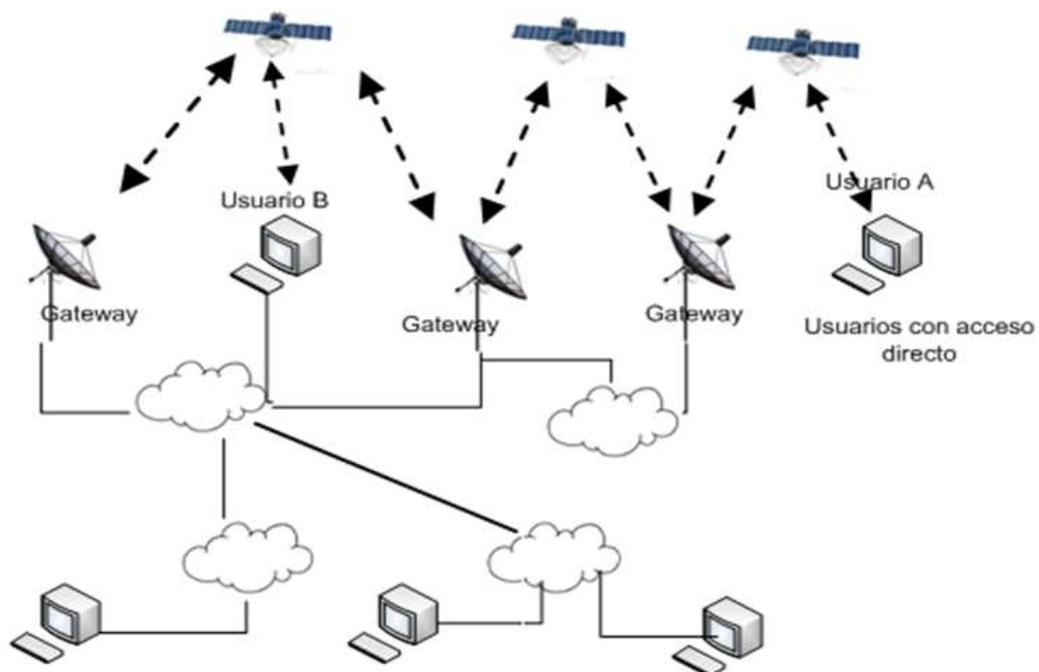


Figura 5. Arquitectura de red de Internet satelital con satélites transparentes

Fuente: Elaboración propia

Para construir redes en el espacio y aumentar la eficiencia del espectro y disminuir la latencia se puede utilizar los satélites con procesamiento a bordo (OBP) y enlaces ínter satelitales (ISL) que es una combinación de red de acceso y de backbone ver figura 6.

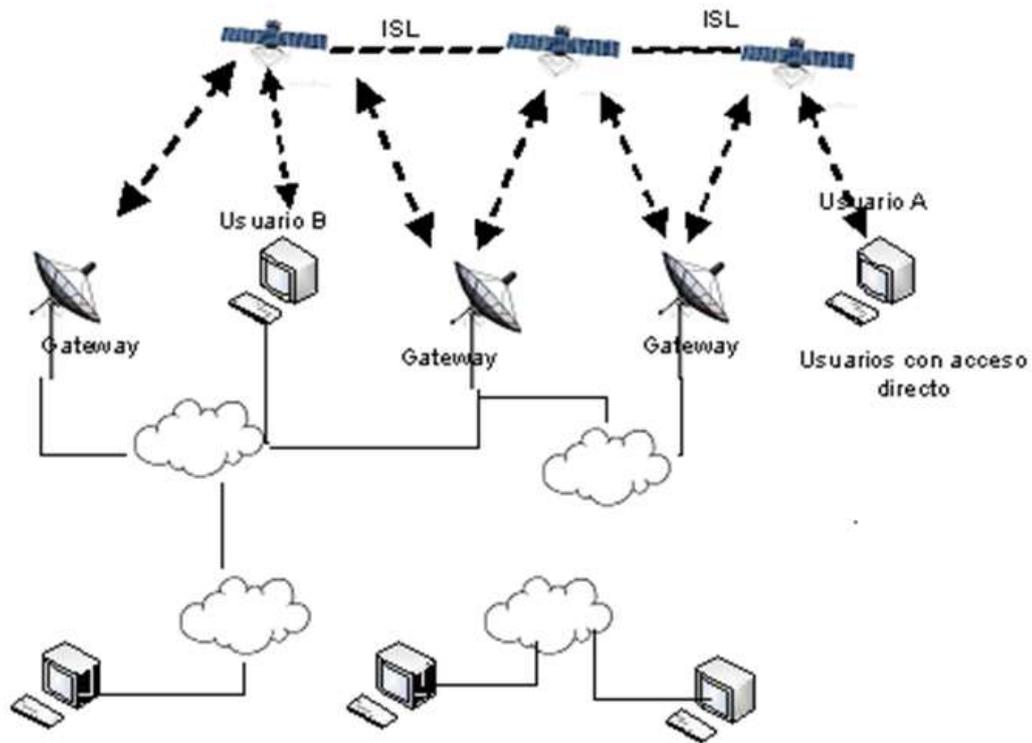


Figura 6. *Internet satelital basado en la arquitectura OBP e ISL*

Fuente: Elaboración propia

Las estaciones terrenas de las dos arquitecturas de redes generales mencionadas anteriormente son interactivas; es decir, pueden transmitir y recibir datos del satélite al mismo tiempo. Debido a la asimetría del tráfico de Internet, son más datos los que se reciben que los que se transmiten, ejemplo de ello es web browsing, hay una tendencia para proveer acceso a Internet usando los satélites de difusión DBS (direct broadcast satélites). De esta forma las estaciones pueden recibir canales de difusión

de Internet de alta velocidad, pero hay que considerar el problema de ruteo unidireccional ver la figura 7.

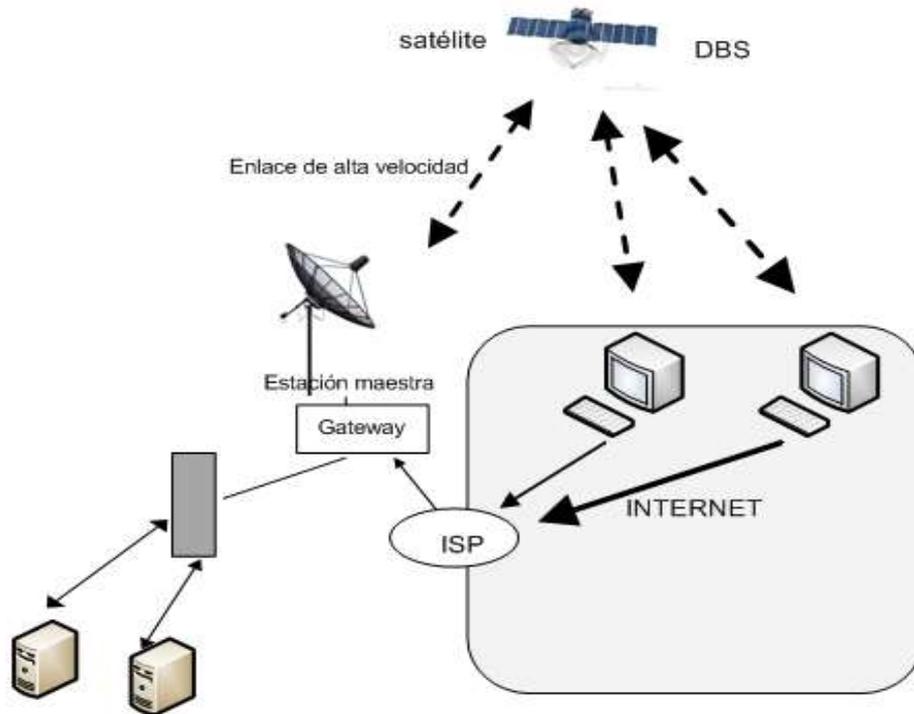


Figura 7. Acceso a Internet a través de DBS (Roladan Matinez, 2005)

Fuente: Elaboración propia

Una red de comunicación satelital interconectada con Internet puede ser usada para llevar tráfico de Internet y proveer servicios de Internet. Los beneficios de Internet sobre satélite son los siguientes:

- **Amplia cobertura:** Teóricamente, tres satélites geoestacionarios son suficientes para cubrir el globo terráqueo. Esto complementa los servicios terrestres, que no cumplirían la demanda de calidad de servicio en todas y cada una de las localidades.

- Comunicación sin fronteras: La comunicación satelital es completamente inalámbrica, los usuarios pueden gozar de comunicaciones fijas y móviles en cualquier lugar bajo la cobertura de la huella satelital.
- Gran ancho de banda: Muchos de los nuevos satélites están diseñados para dar de decenas de giga bits por segundo de throughput total.
- Capacidad de broadcast/multicast: Son atractivos para aplicaciones punto - multipunto, el desempeño es uniforme y predecible. En contraste, multicast en una red terrestre requiere de un ruteo multicasting complicado, donde el desempeño puede variar para cada miembro del grupo de multicast y es dependiente de la ruta desde la fuente.

La arquitectura de la red satelital para Internet varía de acuerdo al rol que juegue la red satelital en Internet. Los roles de los satélites en Internet son: como tecnología de enlace, como tecnología de subred o como red clave ver la figura 8.

El satélite como una tecnología de enlace puede conectar dos computadoras y proveer enlaces punto a punto. En esta arquitectura, la red satelital es un enlace de capa solamente y no tiene diferencia con cualquier otro enlace terrestre, excepto por que tiene un retardo más grande. Cualquier tráfico de Internet puede pasar a través de este enlace.

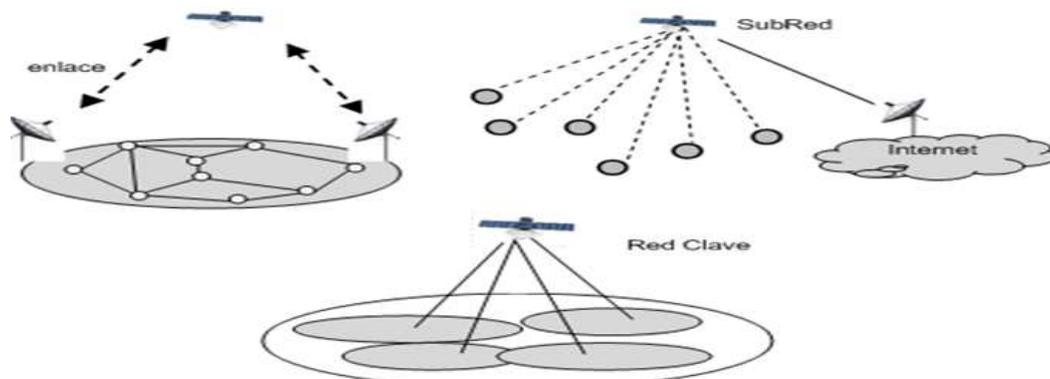


Figura 8. Roles de red satelital en internet

Fuente: Elaboración propia

3.1.3 Protocolos de control de acceso al canal para comunicaciones satelitales.

Los protocolos MAC (control de acceso al medio) juegan un papel muy importante para el aseguramiento de un alto desempeño de los protocolos de capas superiores como TCP (transmission control protocol) o IP (internet protocol) y también en la utilización justa y eficiente de los recursos satelitales limitados.

Se han propuesto y desarrollado múltiples protocolos MAC para satisfacer distintos ambientes de operación. Muchos de los protocolos MAC simplemente no fueron diseñados para cumplir con los requerimientos de una comunicación satelital.

Los esquemas de acceso MAC se pueden categorizar en tres tipos, dependiendo de cómo se asigna el ancho de banda:

- Asignación fija (FAMA).
- Acceso aleatorio (RA).
- Asignación por demanda (DAMA).

Cada protocolo tiene sus ventajas y limitantes. Por ello, se dice que ningún protocolo es mejor sobre otro en el rango completo de criterios de desempeño.

a. Protocolos de asignación fija (FAMA).

La asignación fija tiene la ventaja de ser simple y con retraso mínimo. Sin embargo, con tráfico a ráfagas, la asignación fija causa un enorme gasto en el recurso ancho de banda que le da una utilización muy baja.

Existen tres técnicas fundamentales de proveer asignación fija a la conexión de canal:

- FDMA (frequency división múltiple access - acceso múltiple por división de frecuencia).
- TDMA (time división múltiple access - acceso múltiple por división de tiempo) (Tri, 1990).
- CDMA (code división múltiple access - acceso múltiple por división de código).

3.1.4 Posibles escenarios.

3.1.4.1 Red IP satelital punto – multipunto – canal de retorno RDSI (red digital de servicios integrados).

Se requiere de una red con capacidad de transmisión bidireccional para permitir aplicaciones basadas en el protocolo de transporte TCP (Transmission Control Protocol) y permitir a las estaciones remotas interactuar con la estación transmisora. Por lo tanto, es necesario considerar un canal de retorno, que puede proveerlo a través de la red digital de servicios integrados (RDSI) por medio de dos canales de 64 Kbps.

De esto resulta una arquitectura de red híbrida, donde la estación transmisora se conecta a un enlace satelital de banda ancha y a un canal de retorno a través de la RDSI, mientras que las estaciones receptoras están conectadas a un canal satelital y a dos enlaces terrestres a través de RDSI.

Esta configuración nos permite aplicaciones basadas en los protocolos TCP/IP como:

- FTP.
- Telnet.
- Email.

- www.
- Videoconferencias.

La forma de mandar los acuses de recibidos de los sitios remotos hacia la estación central transmisora será a través de los enlaces de RDSI.

Debido a que la mayoría de las transacciones a servidores de multimedia y web son con mayor tráfico desde el servidor al cliente decimos que existe un tráfico asimétrico en este tipo de redes. Los radios de tráfico típicos en la navegación por Internet son de 10:1 [de outbound a inbound]. Además, en aplicaciones como la teleeducación es necesario que los alumnos tengan un rol activo en el proceso de aprendizaje, por ello, es tan importante el canal de retorno que permite la interactividad. Es importante contar con una buena calidad de audio y video desde el maestro a los alumnos (ancho de banda grande) mientras que en el canal de retorno es suficiente con canales de bajo ancho de banda para la transmisión de buena calidad de voz o para la transmisión de preguntas en video de baja calidad ver figura 9.

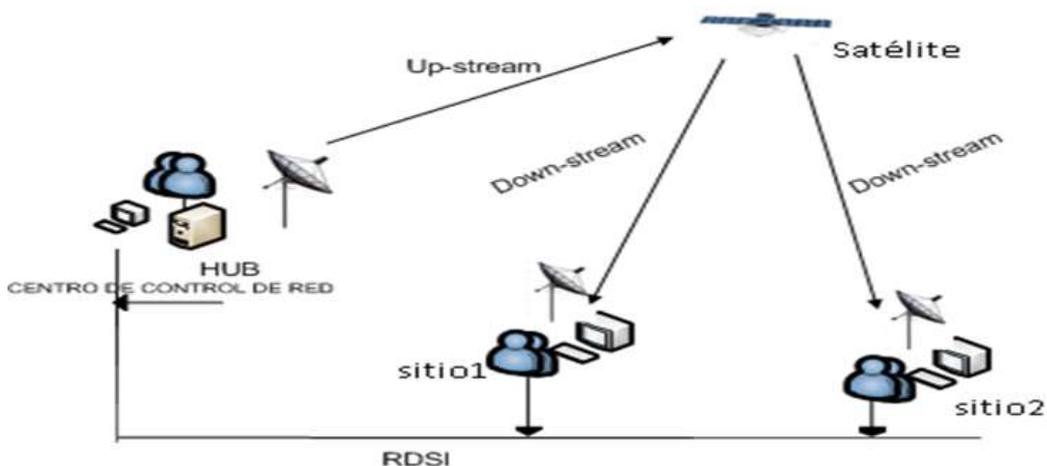


Figura 9. Red satelital punto - multipunto (canal de retorno RDSI)
Fuente: Elaboración propia

La comunicación en redes satelitales comúnmente es asimétrica - la capacidad del enlace de bajada (downstream) de comunicación, de los servidores

de información a los clientes, es mucho mayor que la capacidad del enlace de comunicación de subida (upstream), de clientes a servidores.

De esta forma, la fuerte asimetría en la cantidad de ancho de banda disponible en ambas direcciones no afecta el desempeño total del sistema siempre y cuando los servicios proporcionados por la red tengan tráficos asimétricos (CNIT-ASI, SF).

3.1.4.2 Red satelital TCP – IP.

En este escenario se presenta un proceso interesante ya que se utilizan técnicas de acceso múltiple al satélite para compartir el ancho de banda. En este escenario, se pueden emplear protocolos de acceso múltiple para acceder a un medio como el canal de satélite compartido para la optimización del ancho de banda asignado. Se pueden utilizar diversos protocolos de control de acceso al medio (MAC) que son esenciales para la operación eficiente de las redes de comunicaciones.

La función principal de estos protocolos es su intermediación en el acceso a un canal compartido, por un conjunto de estaciones, de forma imparcial y eficiente. Los protocolos MAC juegan un rol muy significativo para el aseguramiento del alto desempeño de protocolos de capas superiores como TCP o IP – Internet protocol.

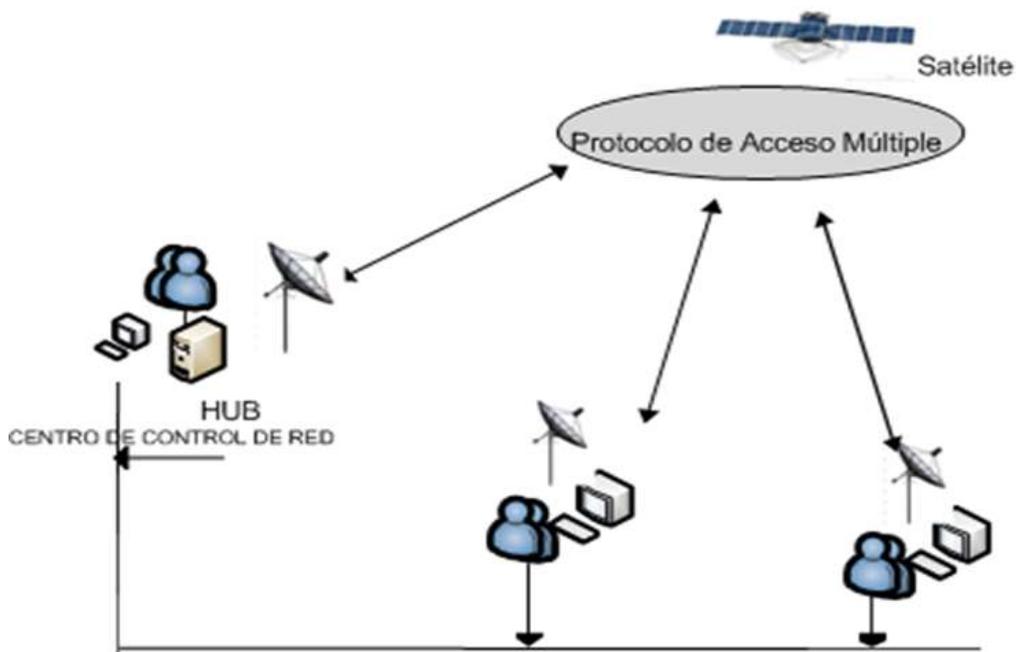


Figura 10. Red satelital TCP - IP con acceso múltiple para canal compartido
Fuente: Elaboración propia

En los últimos años ha existido un crecimiento exponencial de la demanda de tráfico de datos y necesidades de interactividad en aplicaciones de comunicaciones. Comúnmente estas aplicaciones van sobre una infraestructura IP y para las aplicaciones de tele-educación se requieren considerables anchos de banda y flexibilidad de la arquitectura de red que permita una adecuada asignación de los recursos disponibles en el sistema. En aplicaciones enfocadas a la comunicación bidireccional, como la tele-educación como medio interactivo que es de especial interés en el presente estudio, se requieren velocidades de transmisión de datos más flexibles y que soporte mayores niveles de tráfico.

3.1.5 Hispasat 1C.

Es un satélite perteneciente a la empresa española Hispasat, el mismo que tuvo su lanzamiento el 3 de febrero del año 2000 y cuyas características son las siguientes:

- Número de transpondedores: 24.

- Frecuencias: banda Ku.
- Subida: 13,00 - 13,25 GHz; 13,75 – 14,00 GHz.
- Bajada: 11,70 – 12,20 GHz.
- Ancho de Banda: 36 MHz.
- Polarización: lineal, (vertical / horizontal).
- Amplificadores (TOP): 110 W.
- Cobertura americana banda Ku.
- Potencia isotrópica radiada equivalente (dBW): zona A:47 dBW, zona B: 44 dBW, zona C 41 dBW.
- G/T (dB/K°): zona A 1dB/K, zona B: 2dB/K, zona C:5dB/K.



Figura 11. Cobertura del satélite HISPASAT 1C por zonas

Fuente:http://www.hispasat.com/media/Instaladores/CTETH/Serie_100/102_octubre.pdf

3.1.5.1 Datos generales de interés.

La plataforma, o módulo de servicios, es la encargada de mantener operativo el satélite en su posición orbital durante su vida útil. Las características más destacadas del satélite Hispasat 1C son:

Tabla 1.

Características más destacadas del satélite Hispasat 1C

Descripción	Hispasat 1C
Estabilización	3 ejes
Masa de lanzamiento (kg)	3 112,5
Masa seca (kg)	1304
Masa carga útil (kg)	299,5
Potencia total disponible (W)	5 848,3
Potencia consumida (W)	5 471,7
Potencia consumida por carga útil (W)	4 181,9
Vida operacional	15 años
Posición orbital	30° longitud Oeste
Plataforma	SPACEBUS 3000B2
Fecha de lanzamiento	03/02/2000
Vehículo lanzador	ATLAS IIAS
Mantenimiento en posición	Norte-Sur $\pm 0,05^\circ$ Este-Oeste $\pm 0,05^\circ$

3.1.5.1 Utilización del satélite Hispasat 1C.

Longitud Orbital 30°O

Cobertura America Banda Ku

Los satélites de comunicaciones, como los de la flota de Hispasat, tienen muchas y variadas aplicaciones.

Se utilizan para:

- Radiodifusión de señales de radio, televisión y datos, para distribución de señales multimedia a puntos dispersos geográficamente, para enlaces profesionales de contribución de señales multimedia (principalmente de televisión).
- Redes de telecomunicaciones, con topologías tanto en estrella como en malla; así como, para enlaces entre dos puntos determinados, incluyendo las redes VSAT.

- Acceso a internet, tanto en velocidades de transmisión moderadas como en banda ancha.
- Permite establecer un número, prácticamente ilimitado, de redes como: redes VSAT para aplicaciones institucionales y empresariales. Sistemas de control de calidad y caudal de aguas en ríos. Sistemas de control de calidad del aire y contaminación atmosférica. Sistemas de distribución de las cadenas privadas de televisión analógica terrenal. Sistemas de distribución de señales de datos para la impresión remota de periódicos. Sistemas de distribución de señales de radio digitales para emisoras de radio FM.

En general, los satélites Hispasat son muy adecuados para cualquier tipo de aplicación que requiera enlazar puntos muy distantes entre sí, o donde se requiera conectar a muchos puntos diversos de manera simultánea.

3.1.5.2 Contratación de volumen en permanencia.

Esta modalidad de contratación permite alquilar capacidad en volumen para usos no restringidos dentro de las coberturas y con las conectividades ofrecidas por Hispasat y sujeto a disponibilidad, entre los que se tiene:

- Transpondedores completos en permanencia.
- Transpondedores de 36; 46; 54 o 72 MHz de ancho de banda se alquilan por periodos de 1, 3, 5, ó 7 años.
- Fracción de transpondedor en permanencia
- 1/2 transpondedor (36; 27; 23; 18 MHz)
- 1/4 Transpondedor (18; 13,5; 11,5; 9 MHz).

- Otro bajo demanda: las utilizaciones sobre la capacidad alquilada deberán realizarse en conformidad con los procedimientos técnicos definidos por (Hispasat, 2010).
- Contratación no permanente: esta modalidad de contratación permite alquilar transpondedores completos o fracciones de transpondedor por períodos limitados de tiempo.

3.1.5.3 Configuración de los transpondedores, plan de frecuencias y polarización.

Plan de frecuencias y la configuración de los transpondedores para SFS, se presenta en la figura 12 y 13.

El plan de frecuencias para SFS incluye un total de 24 transpondedores de 36 MHz de ancho de banda.

3.1.5.4 Mapa y tablas de cobertura del satélite (Hispsat, 2010).

- a. *Cobertura América, que cubre la mayor parte del Continente americano, desde Canadá en el Norte hasta la Patagonia en el Sur.*

La figura ilustra el área geográfica correspondiente a la cobertura América con el propósito de especificar los parámetros:

- Densidad de flujo de saturación.
- Valor mínimo nominal del factor de calidad del receptor G/T.
- Valor mínimo nominal de la potencia isotrópica radiada equivalente (PIRE)

Con el fin de especificar los parámetros de PIRE y G/T asociados se definen diferentes zonas en ambas coberturas.

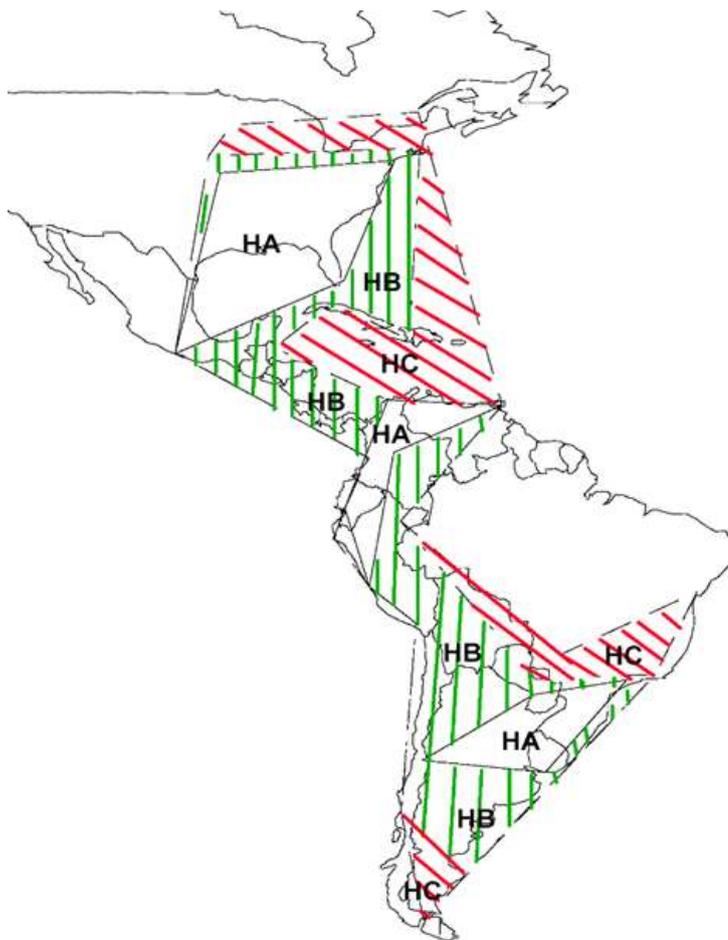


Figura 12. Mapa de cobertura

Fuente: http://www.hispasat.com/media//Instaladores/CTETH/Serie_100/102_octubre.pdf

Nota: HA: Costa Sur-este de EE.UU. (Golfo de México y Florida hasta Washington). Venezuela, Colombia, Ecuador y Perú. Noreste de Argentina, Uruguay y sur de Brasil; HB: Costa Este de EE.UU. hasta Nueva York, Centro América, Colombia, Bolivia, Chile y Argentina; HC: Mar del Caribe, Brasil en el entorno de Río de Janeiro y Sao Paulo, Patagonia y Tierra del Fuego.

Las especificaciones de zonas de coberturas, tanto ascendentes como descendentes, se definen con idénticos polígonos. Las coordenadas de los vértices de los polígonos que definen las zonas de cobertura se dan en la siguiente tabla:

Tabla 2*Zona de cobertura América HB*

Zona de cobertura América HB			
Punto	Longitud (E)	Latitud (N)	Localidad
HB1	-71,00	+42,20	Boston (EEUU)
HB2	-72,30	+18,50	Port Au Prince (Haití)
HB3	-81,40	+23,00	La Habana (Cuba)
HB4	-88,20	+17,50	Belize
HB5	-74,80	+11,10	Barranquilla (Colombia)
HB6	-61,30	+10,40	Trinidad y Tobago
HB7	-73,30	-3,90	Iquitos (Perú)
HB8	-57,40	-23,40	Concepción (Paraguay)
HB9	-43,20	-22,80	Río de Janeiro (Brasil)
HB10	-65,60	-47,40	Puerto Deseado (Argentina)
HB11	-73,20	-39,80	Valdivia (Chile)
HB12	-71,50	-16,50	Arequipa (Perú)
HB13	-77,00	-12,00	Lima (Perú)
HB14	-81,20	-5,90	Punta Aguja (Perú)
HB15	-79,90	-2,30	Guayaquil (Ecuador)

Fuente: http://www.hispasat.com/media//Instaladores/CTETH/Serie_100/102_octubre.pdf

3.1.5.5 Características de funcionamiento.

a. Densidad de flujo de saturación y pasos de ganancia.

La densidad de flujo de saturación (DFS) se define como la densidad de flujo de potencia (dBW/m²) a la entrada de la antena receptora del satélite que hace que el

transpondedor alcance la saturación. Este valor varía en función de la ganancia de cada transpondedor.

La ganancia de cada transpondedor es ajustable individual e independientemente por comandos desde tierra, de manera que es posible llevar a saturación cuando se trate con una portadora no modulada, en el centro del transpondedor y con una densidad de flujo que esté comprendida en el margen especificado en la tabla 3, y se reciba en la dirección de ganancia de antena mínima comprendida en la zona de cobertura de recepción.

Tabla 2

Densidad de flujo de saturación para el transpondedor

Zona de cobertura	Mínima DFS (dBW/m²)	Máxima DFS (dBw/m²)
HA	-93	-78
HB	-90	-75
HC	-87	-72

Fuente: http://www.hispasat.com/media/Instaladores/CTETH/Serie_100/102_octubre.pdf

Todos los transpondedores pueden trabajar en dos modos de operación, seleccionable por comandos desde tierra:

- Modo de ganancia fijo.
- Modo de control automático de ganancia.

Para una configuración dada (cualquier combinación posible de pasos de ganancia y encaminamiento de redundancias) y para cada transpondedor, la variación de la densidad de flujo de saturación para una portadora sin modular, en el centro del transpondedor, recibido de cualquier posición comprendida en las

zonas de cobertura, será inferior a 2 dB en cualquier intervalo de 24 horas. Estas variaciones incluyen los efectos de apuntamiento de las antenas en modo normal.

G/T es el valor mínimo nominal medido a cualquiera de las frecuencias comprendidas dentro del ancho de banda utilizable para cualquier situación dentro del área de cobertura no será inferior a los valores definidos en la tabla cuando el transpondedor se opera en el nivel de ganancia que produce la máxima densidad de flujo de saturación (mínima ganancia). En la figura 13 se ven diagramas de cobertura típicos relativos a la G/T para América.

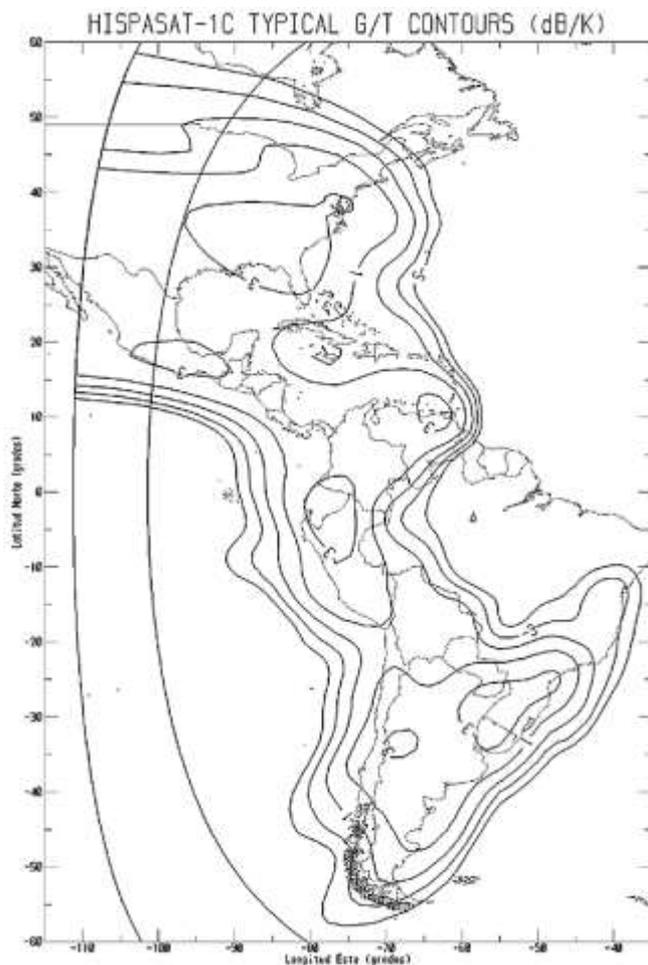


Figura 13. G/T de acuerdo a la cobertura para América

Fuente: http://www.hispasat.com/media/Instaladores/CTETH/Serie_100/102_octubre.pdf

Se entiende por valores nominales los especificados hasta el final de la vida útil, mientras que los valores estimados hacen referencia a un desempeño real previsto para los satélites, sujetos a confirmación mediante las correspondientes medidas en órbita.

La estabilidad de G/T es tal que no se producirán variaciones superiores a 2 dB en cualquier intervalo de 24 horas para cualquier situación dentro de las áreas de cobertura, suponiendo que no tienen lugar cambios de encaminamiento de la señal, y hasta 3,5 dB durante la vida orbital nominal del satélite y para cualquier encaminamiento posible. Estas estabilidades incluyen el efecto causado por las variaciones de apuntamiento en modo normal.

Tabla 3

Factor de mérito en las zonas HA, HB y HC

Cobertura	G/T mínima (dB/°K)
Zona HA	+1,0
Zona HB	-2,0
Zona HC	-5,0

Fuente: http://www.hispasat.com/media//Instaladores/CTETH/Serie_100/102_octubre.pdf

El valor de PIRE mínimo nominal radiado por transpondedor, medido en el centro de cada transpondedor, bajo la condición de una portadora única en saturación, será igual o mayor que el valor especificado en la Tabla, para las situaciones referenciadas y para cualquier ubicación comprendida dentro de la zona de cobertura correspondiente. En la figura 14 se presentan diagramas de cobertura típicos relativos a la PIRE América, respectivamente.

Para cualquier situación dentro de las zonas de cobertura, la estabilidad de PIRE, bajo la condición de saturación con portadora única, será mejor que 1,5 dB

en cualquier intervalo de 24 horas, suponiendo que no tiene lugar ninguna modificación de encaminamiento de la señal, y será mejor que 3 dB durante la vida orbital nominal del satélite y para cualquier posible encaminamiento. Estas estabilidades incluyen el efecto causado por las variaciones de apuntamiento en modo normal, ver tabla 5.

Tabla 4

PIRE del transpondedor satelital

Zona de cobertura	PIRE mínima (dBW)
Zona HA	47
Zona HB	44
Zona HC	41

Fuente:

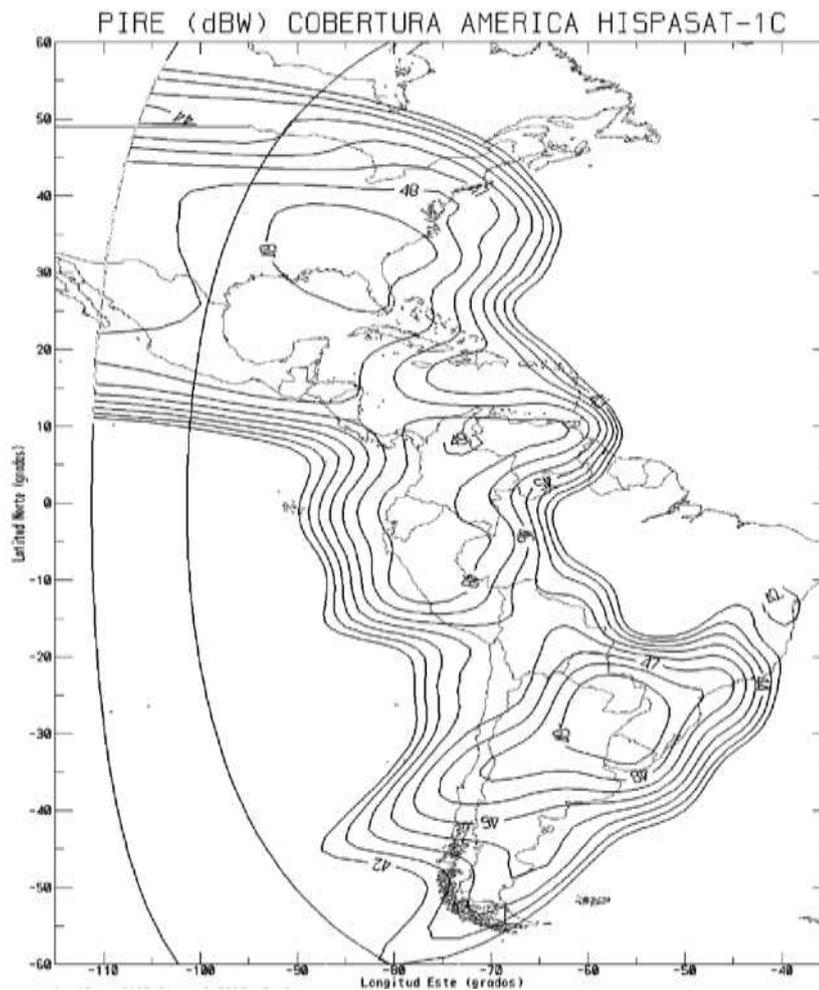


Figura 14. PIRE del transpondedor de acuerdo a la cobertura del satélite

Fuente: http://www.hispasat.com/media//Instaladores/CTETH/Serie_100/102_octubre.pdf

3.1.6 Ángulo de azimut, ángulo de elevación y distancia.

Para que exista un enlace satelital es necesario que exista una línea de vista entre la estación terrena y el satélite. Para que la línea de vista exista la antena tiene que apuntar hacia la latitud donde se encuentra el satélite. Existen dos movimientos que tiene que tener cualquier antena de enlace satelital, estos son el ángulo azimut y el ángulo de elevación.

El ángulo azimut se define como el ángulo de apuntamiento horizontal de una antena terrestre, tomando como referencia al norte como 0° . El ángulo de elevación se define como la apertura entre el plano horizontal y la señal electromagnética radiada por la antena. La figura 15 determina el ángulo azimut y el ángulo de elevación.

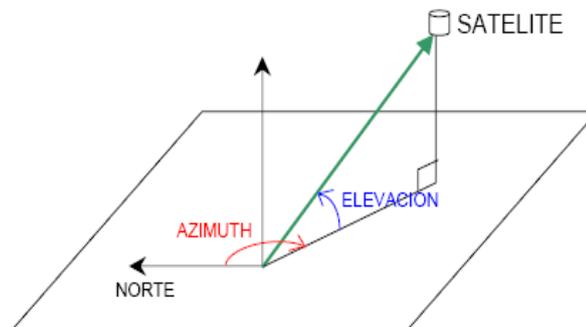


Figura 15. Ángulo azimut respecto al norte y ángulo de elevación respecto al horizonte

Fuente: Elaboración propia

3.1.6.1 Cálculo del ángulo de azimut.

Para realizar el cálculo del ángulo acimut es necesario conocer la latitud LA_{es} de la estación terrestre, longitud LO_{es} de la estación terrestre, así como la longitud LO_{sat} del satélite. La siguiente ecuación muestra el cálculo del ángulo azimut.

$$Az_m = \tan^{-1} \left(\frac{\tan(LO_{es} - LO_{SAT})}{\sin LA_{es}} \right) \dots\dots\dots [\text{Ecuación 1}]$$

Para obtener el ángulo real del azimut se utiliza la siguiente tabla.

Tabla 5

Cálculo real del ángulo azimut

Situación	Ecuación
Si el satélite se encuentra al sureste de la estación terrestre.	$Az = 180 + Az_m$
Si el satélite se encuentra al suroeste de la estación terrestre.	$Az = 180 - Az_m$
Si el satélite se encuentra al noreste de la estación terrestre.	$Az = 360 - Az_m$
Si el satélite se encuentra al noreste de la estación terrestre.	$Az = Az_m$

Fuente: Elaboración propia

3.1.6.2 Cálculo del ángulo de elevación.

Para el cálculo del ángulo de elevación también necesitaremos la ubicación de la estación terrestre tanto como la ubicación del satélite. La siguiente ecuación muestra el cálculo del ángulo de elevación.

$$Elev = \tan^{-1} \left(\frac{\cos LA_{es} \cos(LO_{es} - LO_{sat}) - 0,151}{\sqrt{1 - \cos^2 LA_{es} \cos^2(LO_{es} - LO_{sat})}} \right) \dots\dots\dots [\text{Ecuación 2}]$$

Donde:

LA_{es} = Latitud de la estación terrena (Sur).

LO_{es} = Longitud de la estación terrena (Oeste).

LO_{Sat} = Ubicación del satélite a utilizar.

3.2 Caso práctico

Para el desarrollo de este apartado se tomó como referencia parte de la tesis de Maestría en Computación e Informática denominada “Determinación de los puntos de recepción y transmisión de Internet para un enlace satelital y wifi” (Flores Chipana, 2010).

3.2.1 Localización.

El centro poblado menor de Llachón se encuentra ubicado en el distrito de Capachica, en la región Puno, provincia de Puno, departamento de Puno a una altitud de 3880 msnm latitud sur 15° 38,30” y longitud oeste 69° 49,50” del meridiano de Greenwich. Se ubica a 62 kilómetros al noroeste de la ciudad de Puno.

Juntamente con la península de Chucuito encierran el golfo de Puno. Capachica está conformado por 16 comunidades: Llachón, Yapura, Lago Azul, Ccollpa, Miraflores, Capano, Ccotos, Siale, Chillora, Isañura, Escallani, Toco, Hilata, San Cristóbal, Yancaco y Capachica (población); tiene aproximadamente 12 mil habitantes. Cuenta con una extensión aproximada de 117,06 km².

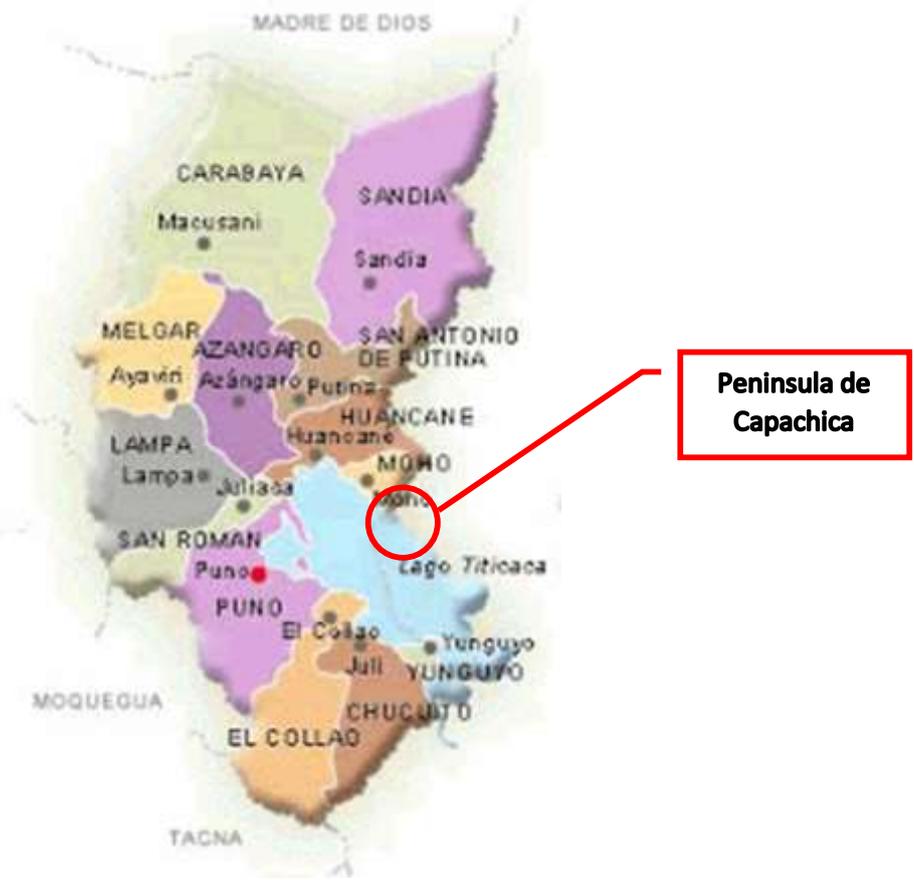


Figura 16. Mapa político de Puno

Fuente: https://www.google.com.pe/search?q=mapa+politico+de+la+region+puno&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjx-bLyrJnfAhVpneAKHQm0DzIQ_AUIDigB&biw=1280&bih=833#imgrc=umh9VQiFCMTGfM



Figura 17. Península de Capachica, departamento de Puno

Fuente: https://www.google.com.pe/search?biw=1280&bih=833&tbm=isch&sa=1&ei=ZIEQXMyzJ4mr5wKuxaIw&q=peninsula+de+capachica+puno&oq=peninsula+de+capachica+puno&gs_l=img.3...2533.3076..3416...0.0..0.139.410.0j3.....1....1..gws-wiz-img.E_JdLxjf8DM#imgrc=LBt30ojgxiUCM



Figura 18. Plaza del centro poblado menor de Llachón – Puno

Fuente: https://www.google.com.pe/search?biw=1280&bih=833&tbm=isch&sa=1&ei=ZIEQXMyzJ4mr5wKuxaIw&q=peninsula+de+capachica+llachon&oq=peninsula+de+capachica+llachon&gs_l=img.3...3171.6970..7048...1.0..0.158.1026.0j7.....1....1..gws-wiz-img.pTKLyLevhcU#imgrc=ls9Pr4rs56m1JM

3.2.2 Esquema del enlace de subida y bajada considerando las variables de ganancia y pérdidas que influyen en el sistema.

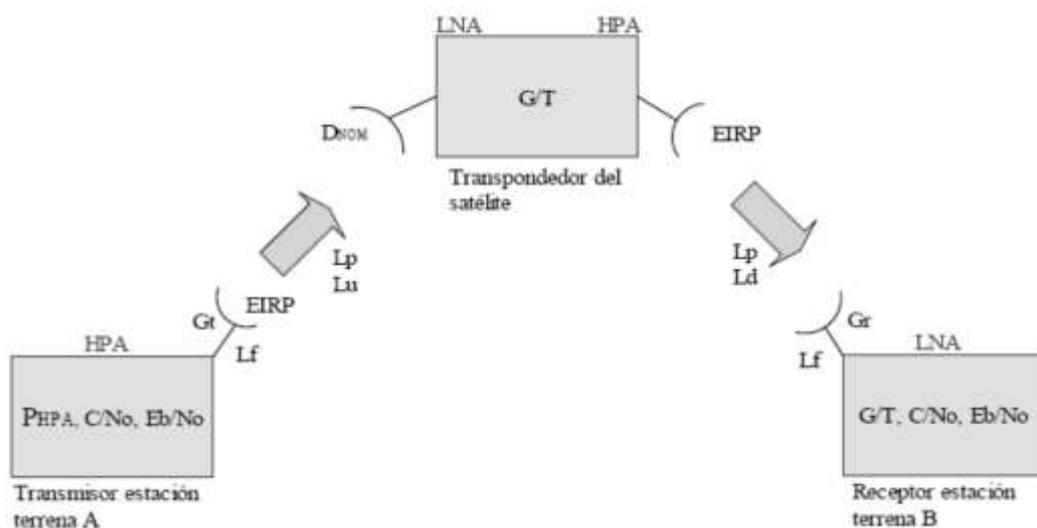


Figura 19. Enlace de subida y bajada
Fuente: (Tomasi, 2003)

Nota: HPA = amplificador de alta potencia.; P_{HPA} = potencia de salida del HPA; L_f = pérdidas en el alimentador de la antena; G_t = ganancia de la antena transmisora; PIRE = potencia isotrópica radiada equivalente; L_u = pérdidas debido a la atmósfera en enlace de subida; L_p = pérdidas adicionales por lluvia y seguimiento; G_r = ganancia efectiva de la antena receptora; G/T_e = relación ganancia-temperatura de ruido equivalente; L_d = pérdidas debido a la atmósfera en el enlace de bajada; LNA = amplificador de bajo ruido; C/N = relación portadora-ruido equivalente; E_b/N_0 = relación energía de bit-densidad de temperatura; D_{NOM} = densidad de flujo nominal de potencia a la entrada del transpondedor.

3.2.3 Cálculo del enlace.

Para nuestro caso práctico se realizó una visita al centro poblado menor de Llachón y se determinaron las coordenadas geográficas donde se ha de ubicar el receptor satelital. La ubicación de la estación terrena del receptor satelital el cual estará ubicado en el municipio del centro poblado menor de Llachón - Capachica-Puno, con las siguientes coordenadas:

- Latitud (LA) : 15°43'36,41"S
- Longitud (LO) : 69°45'16,76"O

Asimismo, se determinó el satélite que nos brindará dicho servicio, para nuestro caso es el satélite Hispasat 1C, ubicado en:

- Longitud: 30° 02' O.

3.2.5 Consideraciones previas para el diseño del radio enlace satelital.

3.2.5.1 Ecuación de órbita geoestacionaria.

$$V = \sqrt{\frac{G.M_e}{r_e + h}} \dots\dots\dots[Ecuación 3]$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{(re + h)}{G.Me}}$$

$$T = \frac{2\pi(re + h)}{V}$$

Donde:

G: Constante gravitación universal = $6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{Kg.s}^2$.

Me: masa de la tierra = $5,90 \times 10^{24} \text{ Kg}$.

re: radio de la tierra = $6\,378,6 \text{ Km}$.

h: distancia de la superficie terrestre = 35786 Km .

V: velocidad tangencial del satélite = 3074 Km/seg

$$re + h = 42164,16 \text{ Km}$$

3.2.6 Geometría del enlace por satélite.

Para recibir las señales del satélite se tiene que orientar de manera efectiva la antena transmisora y receptora considerando los siguientes parámetros:

- $\varphi: Long_{ET} - Long_{Sat}$
- $\lambda = latitud_{ET}$

Donde:

ET: Estación terrena distancia estación terrena al satélite (d):

3.2.6.1 Cálculo del azimut.

$$Azim = \tan^{-1} \left(\frac{\tan(LA_{es} - LO_{SAT})}{\sin LA_{es}} \right) \dots\dots\dots [\text{Ecuación 4}]$$

$$Azim = 75,931^\circ$$

$$Azim = 75^\circ 55' 51,5994''$$

3.2.6.2 Cálculo del ángulo de elevación.

$$Elev = \tan^{-1} \left(\frac{\cos LA_{es} \cos(LO_{es} - LO_{sat}) - 0.151}{\sqrt{1 - \cos^2 LA_{es} \cos^2(LO_{es} - LO_{sat})}} \right) \dots\dots\dots [\text{Ecuación 5}]$$

Elev = 51,999 °

Elev = 51 ° 59' 56,4"

3.2.6.3 Cálculos preliminares.

a. Cálculo de la distancia satélite - estación terrena.

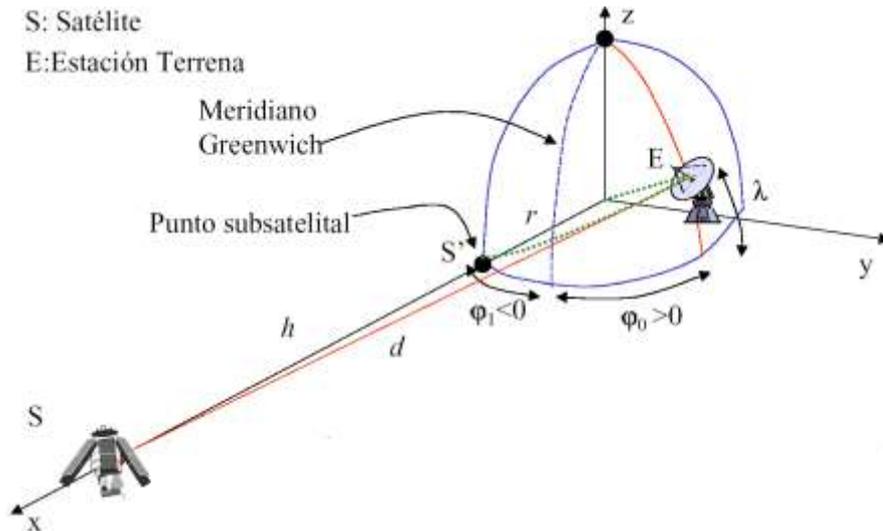


Figura 20. Modelo matemático

Fuente: <http://t2.gstatic.com/images?q=tbn:AND9GcSdK-8CTX7-Ft2xaZWni3q-HbqmTLiGgYdzVGxO2Aa6DTEE104YgzBGZ4QA>

Luego, aplicando la siguiente ecuación 6 se determina la distancia entre la estación terrena y el satélite:

$$d = \left[(r+h)^2 + r^2 - 2r(r+h) \cdot \cos\varphi \cdot \cos\lambda \right]^{1/2} \dots\dots\dots [\text{Ecuación 6}]$$

Donde:

r : radio de la Tierra = 6 378,16 Km.

h : distancia de la superficie terrestre de órbita Geoestacionaria = 35 786 Km.

$$r + h = 42164,16 \text{ Km}$$

$$\varphi: \text{longET} - \text{longSat}$$

Latitud: 15°43'36,41"S 15° 43.607'S

Longitud: 69°45'16,76"O 69° 45.279'O

Datos del satélite Hispasat 1C:

- Longitud: 30° 02' O

- $\varphi : longET - longSat$

$$\varphi = (69^\circ 45.279' - 30^\circ 02')$$

$$\varphi = 39^\circ 43' 16,74''$$

- $\lambda = 15^\circ 43,607''$

Calculando se tiene:

$$d = \left[(42164,16)^2 + 6378,16^2 - 2 \times 6378,16(42164,16) \cdot \cos(39^\circ 43' 16,74'') \cdot \cos(15^\circ 43,607'') \right]^{1/2}$$

$$d = 37686,46 \text{ Km}$$

b. *Pérdidas por espacio libre en el enlace de subida y de bajada.*

Se tiene que:

Frecuencia (up) = 13,892 GHz

Frecuencia (down) = 12,092 GHz

Las frecuencias asignadas se toman de la tabla del plan de frecuencias, para nuestro caso corresponde la zona HB

$$L_d = 20 \text{Log}(37686,46) + 20 \text{Log}(125,096) + 92,5_{dB} = 205,67 \text{ dB/ Km}$$

$$L_u = 20 \text{Log}(37686,46) + 20 \text{Log}(13,892) + 92,5_{dB} = 206,88 \text{ dB/ Km}$$

3.2.6.4 Cálculo de enlace de subida.

a. *Cálculo de densidad de flujo de potencia arribando al satélite.*

Para el cálculo de densidad de flujo de potencia arribando al satélite utilizamos la siguiente ecuación 6; se puede calcular el máximo valor de densidad de flujo a la llegada del satélite:

$$D_{NOM} = D_{SAT} - IBO - 10 \text{Log} \left(\frac{W_{TRANS}}{W} \right) = -75 - 2 \text{dB} - 10 \text{Log} \left(\frac{36 \text{ Mhz}}{1,43 \text{ Mhz}} \right) = -91,01 [\text{dBW} / \text{m}^2] \dots [\text{Ecuación 7}]$$

Donde:

$D_{SAT} = -75 \text{ dBW/m}^2$ (recomendaciones técnicas para el satélite Hispasat 1c cuya zona de cobertura es HB).

$IBO = -2$ (recomendación técnica).

$W_{trans} =$ Ancho de banda ocupado.

$W = 36 \text{ Mhz}$ (ancho de banda del transpondedor).

b. Cálculo del PIRE de la estación terrena.

Primeramente, calculamos el diámetro de la antena que tiene una ganancia de 40 dBi a partir de la ecuación 2. De esta ecuación hallamos el A_e y obtenemos el diámetro de la antena:

$D=1,008 \text{ m}$.

Luego, el PIRE requerido por la estación terrena se calcula y despejando la variable queda:

$$PIRE[dBW] = D + L_u + G_{1m} + \text{margin}$$

Primeramente, calculamos la ganancia de la antena de 1m.

$$G_{1m} = 20\text{Log}(f) + 21,4 = 20\text{Log}(13,892) + 21,4 = 44,26\text{dBi}$$

Luego:

$$PIRE = D + L_u + G_{1m} + \text{margin} = -91,01 + 206,88 - 44,26 + 3 + 0,5 = 75,11[dBW]$$

Donde:

G_{1m}^2 , L_u : son las pérdidas por espacio libre de enlace ascendente, margen es la atenuación causada por lluvia igual a 5 dB y seguimiento es igual a 0,5 dB. La potencia de entrada al HPA se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$P_{HPA} = PIRE - G_t - \text{perdidas_alimentación} = 75,11 - 44,26 - 3,6 = 27,25[dBW]$$

Donde:

G_t : es la ganancia de la antena transmisora.

PIRE: es la potencia de transmisión de la estación terrena.

c. *Cálculo de relación portadora a temperatura de ruido para enlace ascendente*
(C/T_{UP}).

La relación portadora a temperatura de ruido para el enlace de subida.

$$\frac{C}{T_{UP}} [dBK^{-1}] = PIRE [dB] - L_u [dB] + \frac{G}{T_e} [dBK^{-1}] - \text{margin} \dots\dots\dots [\text{Ecuación 8}]$$

El valor de $\frac{G}{T_e} [dBK^{-1}]$ se obtiene de la tabla 7 factor de mérito en las zonas HA, HB, HC.

$$\frac{G}{T_e} [dBK^{-1}] = -2$$

$$\begin{aligned} \frac{C}{T_{UP}} [dBK^{-1}] &= PIRE [dB] - L_u [dB] + \frac{G}{T_e} [dBK^{-1}] - \text{margin} \\ &= 75,11 - 206,88 - 2 - 3 - 0,5 = -137,27 [dB/K] \end{aligned}$$

Donde:

PIRE: potencia de transmisión de la estación terrena.

L_u : pérdidas por espacio libre de enlace ascendente.

G/T : relación ganancia a temperatura de ruido del satélite.

Margen: es la atenuación debido a lluvia y seguimiento.

d. *Cálculo de relación energía de bit a densidad de ruido para enlace ascendente.*

Mediante la siguiente ecuación se obtiene:

$$\frac{E_b}{N_{O,UP}} = \frac{C}{T_{up}} + K - 10 \text{Log}(\text{velocidad_digital}) \dots\dots\dots [\text{Ecuación 9}]$$

$$= -137,27 + 228,6 - 10 \text{Log}(1000000) = 21,33 [dB]$$

Donde:

Velocidad digital: es la tasa de transmisión igual a 1,0 Mbit/s.

3.2.6.5 Cálculo de enlace de bajada.

Los cálculos para el enlace de bajada son los siguientes:

a. Cálculo de PIRE disponible del satélite.

El PIRE disponible del satélite para la transmisión a la estación terrena se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$\begin{aligned} PIRE_{FUN} &= PIRE_{SAT} - OBO - 10\text{Log}\left(\frac{W_{TRANS}}{W}\right) \dots\dots\dots [\text{Ecuación 10}] \\ &= 44 - 10\text{Log}\left(\frac{36\text{Mhz}}{1,43\text{Mhz}}\right) = 26,99[\text{dBw}] \end{aligned}$$

Donde:

PIRE_{SAT}: PIRE de saturación del transpondedor para esta satélite según la tabla 5 es 44(dB/w).

OBO: Reducción de potencia de salida. Según recomendaciones técnicas para este caso es 3.

b. Cálculo de G/T mínima para la estación terrena.

El valor mínimo aceptable relación G/T de la estación terrena se calcula según la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \frac{G}{T} &= 35,0 + 20\text{Log}\left(\frac{f}{4}\right) \dots\dots\dots [\text{Ecuación 11}] \\ &= 35,0 + 20\text{Log}\left(\frac{12,096}{4}\right) \\ &= 44,612[\text{dB/K}] \end{aligned}$$

Donde:

f: frecuencia de bajada en GHz.

c. Cálculo de relación portadora a temperatura de ruido para enlace

descendente (C/T_{down}).

Mediante la siguiente ecuación se obtiene:

$$\frac{C}{T_{DOWN}} [dBK^{-1}] = PIRE_{FUN} [dB] - L_d [dB] + \frac{G}{T_e} [dBK^{-1}] - \text{margin} \dots\dots\dots [Ecuación 2]$$
$$= 26,99 - 205,67 + 25 - 3 - 0,5 = -157,18 (dB / K)$$

Donde:

PIRE: potencia disponible de transmisión del satélite.

L_d: pérdidas por espacio libre de enlace de bajada.

G/T: relación ganancia a temperatura de ruido de la estación terrestre mínima aceptable según recomendaciones técnicas.

Margen: pérdidas debido a la lluvia igual 3 dB y de seguimiento igual a 0,5 dB.

d. Cálculo de relación de energía de bit a densidad de ruido para enlace descendente.

Mediante la siguiente ecuación se obtiene:

$$\frac{E_b}{N_{O,DOWN}} = \frac{C}{N_o} - 10\text{Log}(\text{velocidad_digital}) = \dots\dots\dots [Ecuación 13]$$

También:

$$\frac{E_b}{N_{O,DOWN}} = \frac{C}{T_{down}} + K - 10\text{Log}(\text{velocidad_digital}) =$$
$$= -157,18 + 228,6 - 10\text{Log}(10000000) = 1,42\text{dB}$$

Donde:

Velocidad digital es la tasa de transmisión igual a 10,00 Mbit/s

3.2.6.6 Calidad de enlace.

a. Cálculo de relación portadora a temperatura de ruido de inter modulación en el amplificador de potencia del satélite (C/T_{im, sat}).

Mediante la siguiente ecuación se obtiene:

$$\frac{C}{T_{INT}} = PIRE_{FUN} - SAT_{INT} - 192,5[dB] \dots\dots\dots [Ecuación 3]$$

$$= 26,99[dBW] - 10[dBW / 4Khz] - 192,5[dB]$$

$$= -175,51[dBWK^{-1}]$$

Donde:

SAT_{INT}: Potencia de inter modulación en el amplificador de potencia en el Hispasat

1c.

10 dBw/4Khz: Potencia de inter modulación en el amplificador de potencia del satélite.

PIRE_{FUN}: Potencia de transmisión disponible del satélite.

b. *Cálculo de relación portadora a temperatura de ruido de interferencia. Se obtiene mediante la ecuación.*

$$\frac{C}{T_{Co}} = \frac{C}{I} [dB] + 10Log(ancho_de_banda_ocupado) - 228,6[dB] \dots\dots\dots [Ecuación 15]$$

$$= 3[dB] + 10Log(1430000) - 228,6[dB] = -164,05[dBK^{-1}]$$

Donde:

C/I: Relación portadora a interferencia co-canal máximo permisible (dato según recomendaciones técnicas).

c. *Cálculo de relación portadora a temperatura de ruido de Inter modulación en el amplificador de potencia de la estación terrestre (C/T_{HPA-IM}).*

Se utilizando la siguiente ecuación:

$$\frac{C}{T_{HPA}} = PIRE_{E/T} [dBW] - \frac{C}{I_{HPA-IM}} [dBW / 4Khz] - 192,5[dB] \dots\dots\dots [Ecuación 4]$$

$$= 75,11 - 10 - 192,5$$

$$= -127,39[dBW / K]$$

Donde:

C/I_{HPA-IM} tiene un valor máximo igual a $10[\text{dBW}/4\text{KHz}]$ para una cobertura hemisférica.

PIRE: de la estación terrena es de 75,11 dBw calculado anteriormente.

d. *Cálculo de relación portadora a ruido del sistema.*

Luego con la siguiente ecuación se obtiene:

$$\frac{C}{N_{UP \text{ dB}}} = PIRE_{ET} (\text{dBW}) - L_{UP} + 228,6 + \frac{G}{T} (\text{dB}) - 10\text{Log}(B) \dots \dots [\text{Ecuación 5}]$$

Donde:

$G/T = -2$ (corresponde a la zona donde se ha de ubicar la estación terrena).

$$\frac{C}{N_{DOWN \text{ dB}}} = PIRE_{SAT} (\text{dBW}) - L_{DOWN} + 228,6 + \frac{G}{T} (\text{dB}) - 10\text{Log}(B)$$

$$= 75,11(\text{dBW}) - 206,88 + 228,6\text{dB} + (-2) - 10\text{Log}(1\,430\,000) = 33 \text{ dB}$$

Donde:

$G/T_s = G_{RX} (\text{dBi}) - T (\text{dB})$, temperatura Noise para la antena receptora satelital en banda Ku.

$G_{RX} = 40 \text{ dBi}$ (valor propuesto).

$T = 58^\circ\text{K} + 2^\circ\text{K} = 60^\circ\text{K}$.

$T_{(\text{dB})} = 10\text{Log}(60)$.

$T_{(\text{dB})} = 17,78\text{dB}$.

Luego:

$G/T_s = 40\text{dBi} - 17,78 = 22,22 \text{ dB}$.

$$\frac{C}{N_{DOWN \text{ dB}}} = 26,99 - 205,67 + 228,6 + 22,22 - 10\text{Log}(1430000)$$

$$\frac{C}{N_{DOWN \text{ dB}}} = 10,57\text{dB}$$

De los datos teóricos obtenidos, para efecto de adquirir la antena, esta no es comercial; por lo tanto, se sugiere antena parabólica de 1,2 m, con una ganancia entre 41 y 42 dBi. Asimismo, un modem satelital (VSAT) que pueda trabajar con la antena parabólica propuesta y que trabaje también en la banda Ku.

Si se dispone de 26,99 dBW de potencia desde el transmisor se logrará $E_b/N_o = 1,42$ (dB); por lo que, asegura una buena calidad de recepción satelital.

3.2.7 Propuesta de selección de equipos.

3.2.7.1 Estación remota.

Estará compuesta por los siguientes equipos:

- 1 antena parabólica y sus accesorios como reflecto parabólico, amplificador de RF, alimentador y LNB.
- 1 modem satelital HN7000s.
- 1 computadora.
- 1 switch.

a. Modem satelital: HN7000S.

- Velocidad de información : Hasta 121 Mbps (DVB-S2).
- Rango de frecuencias : Bandas C, C extendida, Ku y Ka.
- Modulación (recepción) : QPSK, 8PSK (DVB-52).
- Modulación (transmisión) : OQPSK.
- Antena : 74 cm, 89 cm, 98 cm, 120 cm, 180 cm
- Suministro eléctrico : 90-264 VAC; 50-60 Hz



Figura 21. Modem satelital

Fuente:http://t0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRUKfsNhDe8s8zKsYjWmHmOK2nFWt0AklcTMCD2fmSoIW_T_c

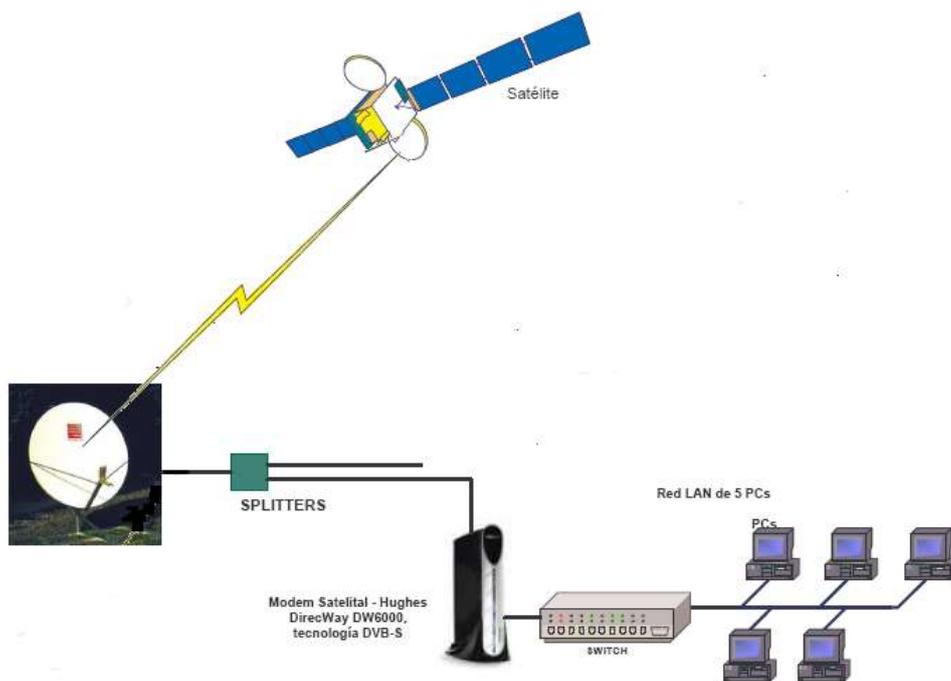


Figura 22. Esquema típico de conexión con modem satelital

Fuente:(Fanola, 2006) “REDES VSAT – Comunicaciones Digitales vía satélite”, Lima, Perú. Primera edición.

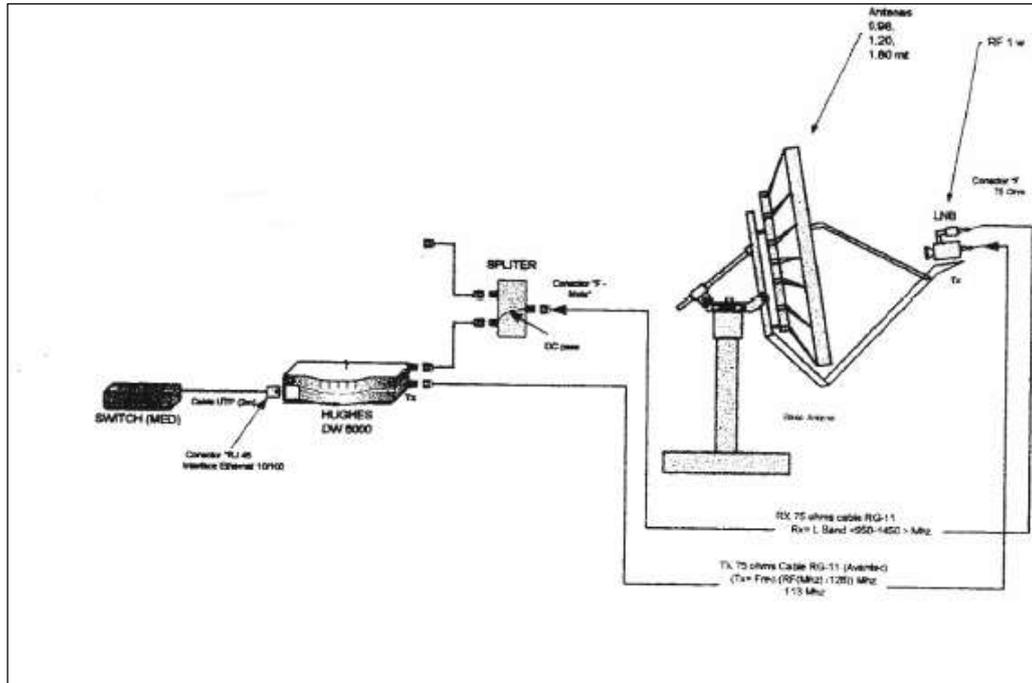


Figura 23 : Esquema eléctrico de la estación remota

Fuente: <http://t2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQ3-ztm9DOcvdLWmK9nG8g0rYplQQjjfgLGonSx3LM8GJAjou4B9A>

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Primera. Las condiciones necesarias para el proceso de recepción de la señal de Internet vía satélite en el centro poblado menor de Llachón se dan por lo siguiente: Si se dispone de 26,99 dBW de potencia desde el transmisor del satélite se logrará una relación de energía de bit a densidad de ruido (E_b/N_o) de 1,42 dB, asegurándose de esta manera una buena calidad de recepción satelital. Con respecto a la calidad del enlace total, la relación portadora a ruido del sistema es de $C/N_{up} = 33$ dB y $C/N_{down} = 10,57$ dB dicho dato nos indica la baja pérdida de señal considerando la distancia entre el satélite y la estación terrena.

Segunda. Las características que tendrá la estructura tecnológica para la recepción vía satélite en el CPM de Llachón son: El módem satelital debe trabajar en la banda Ku y la antena parabólica de recepción satelital debe tener un diámetro de 120 cm y con una ganancia entre 41 y 42 dBi. Las antenas tipo grilla deben tener una ganancia promedio de 24 dBi, los equipos han de tener una potencia de 26 dBm y la sensibilidad del receptor debe ser

de -70 dBm aproximadamente y cuya frecuencia de trabajo será de 2,4 Ghz.

4.2. Recomendaciones

Primera. Al momento de realizar un estudio de enlace entre satélite y una o varias estaciones terrenas se debe tener en cuenta las características técnicas del satélite, antenas y el uso respectivo de las tablas y mapas de cobertura.

Segunda. Se recomienda hacer un estudio de mercado con respecto a la demanda, basado en encuestas, entrevistas y otros instrumentos de recolección de datos, que se enfoquen en las necesidades de los potenciales clientes, para tener datos más reales, como por ejemplo, la cantidad de usuarios que podrían requerir dicho servicio de internet vía satelital.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcocer, A. (1998). *Redes de computadoras*. Lima: Infolink.
- Couch, L. (1997). *Sistemas de comunicación digitales y analógicos* (5° ed)
Barcelona, España: Prentice Hall Hispanoamericana, S.A.
- Fanola, W. (2006). *Redes Vsat - comunicaciones digitales via satélite*. (primera ed.) Lima.
- Flores, G. (2010). *Determinación de los puntos de recepción y transmisión de Internet para un enlace satelital y wifi*. Tesis de Maestría en Computación e Informativa, Universidad Nacional Jorge Basadre G. Tacna, Tacna Recuperado el noviembre de 2017.
- Gomez, M. y Baucells, M. (2007). *Sistemas DTH, Mexico: Alfa Omega*
- Hispasat (2010). Obtenido:
http://www.hispasat.com/media//Instaladores/CTETH/Serie_400/404octubre.pdf
- Hispasat (2010). Obtenido de:
http://www.hispasat.com/media//Instaladores/CTETH/Serie_100/102_octubre.pdf
- Muñoz, D. (2005). *Sistemas inalámbricos de comunicación personal*. Ciudad de México, Mexico: Alfa Omega.
- Palmer, M. (2000). *Redes informáticas*. (Primera ed.). (S.P.S.A., Ed.) Madrid, España: Internacional Thompson
- Roldan, D. (2005). *Comunicaciones inalámbricas*. Mexico: Alfa Omega.
- Tomasi, W. (2003). *Sistemas de comunicaciones electrónicas* (4° ed). Mexico, Mexico: Prentice Hall Hispanoamericana.

Tri, H. (1990). *Digital satellite communications*. California, Estados Unidos:
McGraw - Hill