

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA ELECTRONICA



PROYECTO DE GRADO

**DIMENSIONAMIENTO DEL TRANSPONDER EN BANDA
Ka DEL SATELITE TUPAC KATARI PARA EL USO DE
LAS VSAT**

POSTULANTE: MARIO JAIME COLQUE URQUIZO

TUTOR: ING. ROBERTO OROPEZA CRESPO

LA PAZ - BOLIVIA

2023



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERIA**



LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.

LICENCIA DE USO

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.

DEDICATORIA

Un día de julio 1964, la persona más abnegada en la faz de la tierra me dio lo que la humanidad no logra entender hasta el momento, la preciada vida, a este ser de otro planeta dedico este humilde e insignificante trabajo, al ser que simplemente lo llamamos MADRE; pero cuando esa palabra retumba en nuestros corazones temblamos de emoción y nos rendimos a sus pies, a ti mi madre Dña. Juana.

A mis hijos por privarles de tiempos preciosos, al no estar con ellos mientras estudiaba; agradecer su comprensión, a quienes también va dedicado el presente trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Con las consideraciones correspondientes quiero agradecer a mis docentes de la carrera de ing. Electrónica, UMSA, los que contribuyeron en mi formación académica; en especial a los Ing. Jorge Mario León Gómez, docente de proyecto de Grado y al Ing. Roberto Oropeza Crespo, Tutor por su respaldo constante y confianza en mi capacidad, para la conclusión del presente trabajo.

INDICE GENERAL

CONTENIDO	PAGINA
INDICE.....	iv-xviii
LISTA DE GRAFICOS Y CUADROS.....	xi-xviii
LISTA DE ANEXOS.....	xiii-xviii
ABREVIATURA Y SUS SIGNIFICADOS.....	xiv-xviii
RESUMEN.....	xvii-xviii
CAPÍTULO PRIMERO	
INTRODUCCION.....	01-96
EL PROBLEMA	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	02-96
1.1.1. Antecedentes.....	02-96
1.1.2. Indicadores.....	04-96
1.1.3. Causas.....	04-96
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	04-96
1.3. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	05-96
1.3.1. Delimitación temática.....	05-96
1.3.2. Delimitación temporal.....	05-96
1.3.3. Delimitación ámbito geográfico.....	05-96
1.4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	05-96
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	05-96
1.5.1. Objetivo general.....	05-96
1.5.2. Objetivos específicos.....	06-96
1.6. JUSTIFICACIÓN.....	06-96
1.6.1. Interés.....	07-96

1.6.2.	Factibilidad.....	07-96
1.7.	LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	07-96

CAPÍTULO SEGUNDO

MARCO TEÓRICO

2.1.	FUNDAMENTO TEÓRICO GENERAL.....	09-96
2.1.1.	Marco Histórico.....	09-96
2.1.1.1.	Historia de los Satélites de Comunicación.....	09-96
2.1.1.2.	Satélite de Telecomunicaciones.....	11-96
2.1.2.	Marco Referencial.....	12-96
2.1.2.1.	Satélites por su Órbita.....	12-96
2.1.2.2.	Satélite por su Servicio.....	13-96
2.1.2.3.	Satélites por su peso.....	14-96
2.2.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS ESPECIFICOS.....	14-96
2.2.1.	Componentes del Sistema de Comunicación Satelital.....	14-96
2.2.1.1.	Satélite Artificial.....	15-96
2.2.1.2.	Centro de control.	15-96
2.2.1.3.	Estación terrena.	15-96
2.2.2.	Enlace ciudad y provincia a través del Satélite.	15-96
2.2.3.	Redes Satelitales.	16-96
2.2.4.	Técnica de Múltiple Acceso Satelital.....	16-96
2.2.4.1.	Frecuency-division multiple access (FDMA).	16-96
2.2.4.2.	Time-division multiple access (TDMA).	17-96
2.2.4.3.	Code-division multiple access (CDMA).	17-96
2.2.5.	Técnicas De Modulación.	17-96
2.3.	BASE LEGAL.....	19-96
2.3.1.	Constitución Política del Estado.....	19-96

2.3.1.1.	Decreto Supremo N° 423, 10 de febrero de 2010.....	19-96
2.3.1.2.	Ley N° 087 De 2 De Marzo De 2011.....	20-96
2.3.1.3.	Reglamento General de Telecomunicaciones.....	21-96
2.3.1.4.	Ley N° 164 de 8 de agosto de 2011.....	21-96
2.3.1.5.	Decreto Supremo N° 2104.....	22-96
2.3.1.6.	Plan Nacional de Frecuencias PNF.....	23-96
2.3.2.	Unión Internacional de Telecomunicaciones.....	23-96
2.4.	HIPOTESIS.....	23-96
2.4.1.	Variable independiente.....	23-96
2.4.2.	Variable dependiente.....	23-96

CAPÍTULO TERCERO

METODOLOGÍA

3.1.	GENERALIDADES.....	24-96
3.1.1.	Unidad de Análisis, Población y Muestra.....	24-96
3.1.1.1.	Unidades de análisis.....	24-96
3.1.1.2.	Población.....	24-96
3.1.1.3.	Muestra.....	24-96
3.1.2.	Tipos de investigación.....	25-96
3.1.2.1.	Exploratoria.....	25-96
3.1.2.2.	Descriptiva.....	25-96
3.1.2.3.	Propositiva.....	25-96
3.1.3.	Revisión y análisis bibliográfico.....	25-96
3.1.4.	Otros procedimientos.....	25-96

CAPITULO CUARTO

DESARROLLO DE LA INVESTIGACION

4.1.	SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN SATELITAL QUE BRINDAN MEJORES VELOCIDADES DE COMUNICACIÓN GARANTIZADAS.....	26-96
4.1.1.	Sistemas de Telecomunicación en banda C.....	27-96
4.1.1.1.	Características técnicas de la Banda C.....	27-96
4.1.1.2.	Cobertura y limitación de la banda C.....	28-96
4.1.2.	Sistemas de Telecomunicación en Banda Ku.....	29-96
4.1.2.1.	Características Técnicas de la Banda Ku.....	30-96
4.1.2.2.	Cobertura y limitaciones de la Banda Ku.....	30-96
4.1.3.	Sistemas de Telecomunicación en Banda Ka.....	31-96
4.1.3.1.	Características Técnicas de la banda Ka.....	31-96
4.1.3.2.	Cobertura y limitaciones de la Banda Ka.....	32-96
4.2.	PARÁMETROS QUE SE EMPLEA PARA OPTIMIZAR LAS COMUNICACIONES SATELITALES EN BANDA KA EN BOLIVIA.....	33-96
4.2.1.	Consideraciones para enlaces satelitales.....	33-96
4.2.1.1.	Potencia Isotrópica Radiada Efectiva “PIRE”.....	33-96
4.2.1.2.	Temperatura equivalente de ruido T_e.....	34-96
4.2.1.3.	Perdida de propagación en el espacio libre L_p.....	35-96
4.2.1.4.	Densidad de Ruido N_o.....	37-96
4.2.1.5.	Relación de portadora a densidad de ruido.....	37-96
4.2.1.6.	Relación de la densidad de energía de bit a densidad de ruido (E_b/N_o)....	37-96
4.2.1.7.	Ganancia de la antena.....	38-96
4.2.1.8.	Relación de ganancia a temperatura equivalente de ruido (G/T_e).....	39-96
4.2.2.	Ecuaciones de enlace satelital.....	39-96
4.2.2.1.	Ecuación del enlace de subida.....	39-96
4.2.2.2.	Ecuación de Enlace de Bajada.....	40-96

4.2.2.3.	Calculo de la eficiencia del sistema.....	40-96
4.3.	PARÁMETROS QUE SE DEBE TOMAR EN CUENTA PARA DIMENSIONAR LOS SERVICIOS DE VOZ, DATOS Y VIDEO EN TELECOMUNICACIONES SATELITALES EN BANDA KA.....	41-96
4.3.1	Optimización del ancho de banda para manejo de Voz, Datos y Video.	41-96
4.3.1.1	Protocolo Voz sobre IP.....	41-96
4.3.2	Ancho de banda Satelital.....	42-96
4.3.3	Numero de enlaces Satelital.....	43-96
4.3.4	Velocidad de transferencia Satelital.....	44-96
4.4.	REDUCCION DE GASTOS ECONÓMICOS EN SERVICIOS, EQUIPOS E INFRAESTRUCTURA CON EL USO DE LA BANDA Ka.	44-96

CAPITULO QUINTO

PROPUESTA DEL PROYECTO.

5.1.	SISTEMA DE TELECOMUNICACIÓN SATELITAL CON MAYOR ANCHO DE BANDA Y VELOCIDAD TX, RX.....	46-96
5.2.	ELABORACION DEL PLAN DE FRECUENCIAS DEL TRANSPONDER EN BANDA Ka.....	48-96
5.2.1.	Rangos de Frecuencia utilizados.....	50-96
5.2.2.	Ganancia de la antena del GATE WAY y VSAT.....	54-96
5.2.3.	Perdida de propagación en el espacio libre (L_p).....	56-96
5.2.4.	Perdida de propagación gases atmosféricos (L_g).....	60-96
5.2.5.	Perdida de propagación por lluvia (L_r).....	61-96
5.3.	CALCULO DE ENLACES SATELITALES EN BANDA Ka DEL TKSAT-1.....	63-96
5.3.1.	Calculo del enlace ascendente.....	65-96
5.3.1.1.	Potencia de transmisión de la E/T y VSAT.....	65-96
5.3.1.2.	Potencia Isotrópica Radiada Efectiva “PIRE”.....	67-96
5.3.1.3.	Relación de portadora a densidad de ruido.....	67-96
5.3.1.4.	Relación de portadora a ruido.....	68-96

5.3.2.	Calculo del enlace ascendente.....	70-96
5.3.2.1.	Potencia de transmisión en banda Ka del TKSAT-1.....	70-96
5.3.2.2.	Potencia Isotrópica Radiada Efectiva “PIRE”.....	71-96
5.3.2.3.	Relación de portadora a densidad de ruido.....	71-96
5.3.2.4.	Relación de portadora a ruido.....	73-96
5.3.3.	Calculo de la eficiencia del sistema DVB-S2.....	75-96
5.3.3.1.	Calculo C/N total ascendente.....	75-96
5.3.3.2.	Calculo C/N total descendente DVB-S2.....	75-96
5.3.3.3.	Relación de la densidad de energía de bit a densidad de ruido.....	76-96
5.3.4.	Calculo de la eficiencia del sistema DVB-RCS2.....	78-96
5.3.4.1.	Calculo C/N total ascendente.....	78-96
5.3.4.2.	Calculo C/N total descendente.....	78-96
5.3.4.3.	Relación de la densidad de energía de bit a densidad de ruido.....	79-96
5.4.	PARÁMETROS A CONSIDERAR PARA DETERMINAR CAPACIDAD Y NUMERO DE VSAT BANDA Ka DEL TKSAT-1....	88-96
5.4.1.	Velocidad de transmisión de la Estación Terrena en cada polarización....	88-96
5.4.2.	Capacidad numérica de VSAT para atender en banda Ka.....	89-96
5.5.	REDUCCION DE GASTOS ECONÓMICOS UTILIZANDO SERVICIOS Y EQUIPOS EN BANDA KA.....	90-96

CAPITULO SEXTO

EVALUACION DE LA PROPUESTA

6.1.	CONSIDERACIONES GENERALES.....	92-96
6.2.	APLICACIÓN DE LA PRUEBA DE APTITUD, FACTIBILIDAD Y ACEPTACION (AFA).....	93-96
6.2.1.	Aptitud.....	93-96
6.2.2.	Factibilidad.....	93-96
6.2.3.	Aceptabilidad.....	94-96
6.3.	CONCLUSION DE LA EVALUACION DE LA PROPUESTA.....	95-96

CAPÍTULO SEPTIMO

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1.	CONCLUSIONES.....	96-96
7.2.	RECOMENDACIONES.....	96-96

BIBLIOGRAFIA

GLOSARIO

ANEXOS Y APENDICES

LISTA DE GRAFICOS Y CUADROS

- Grafico 1: Los flujos de FDI son superiores en las economías con uso intensivo del sector de telecomunicaciones.
- Grafico 2: Posicionamiento de tres satélites geoestacionarios.
- Grafico 3: El satélite Sputnik 1 lanzado por la antigua URSS.
- Grafico 4: Cobertura en banda C del satélite Intelsat 35e HTS.
- Grafico 5: Cobertura en banda Ku, SES 14.
- Grafico 6: Cobertura banda Ka, satélite Amazonas 3 de Hispasat.
- Grafico 7: Atenuación de gases atmosféricos.
- Grafico 8: Diagrama de bloques funcional del sistema DVB-S2.
- Grafico 9: Cobertura del satélite Kasat de Eutelsat.
- Grafico 10: Plan de frecuencias banda Ka TKSAT-1.
- Grafico 11: Radiación de patrones en antenas de diferentes diámetros.
- Grafico 12: Poblaciones seleccionadas para el cálculo del enlace satelital.
- Grafico 13: Cobertura en banda Ka del satélite TKSAT-1.

CUADROS

- Cuadro 1: bandas de frecuencias asignadas por la UIT.
- Cuadro 2: Datos generales de banda C.
- Cuadro 3: Datos generales de banda Ku.
- Cuadro 4: Datos generales de banda Ka.
- Cuadro 5: Costos del servicio de internet en Sudamérica.
- Cuadro 6: Cuadro comparativo de las bandas C, Ku y Ka.
- Cuadro 7: Datos técnicos E/T Amachuma, TKSAT-1 y VSAT.

- Cuadro 8: Plan de frecuencias en banda Ka del TKSAT-1.
- Cuadro 9: Ganancia de las antenas a diferentes frecuencias.
- Cuadro 10: Posición exacta de la Estación Terrena y VSATs.
- Cuadro 11: Perdidas en el espacio libre y por gases atmosféricos.
- Cuadro 12: Perdidas por lluvias.
- Cuadro 13: Requerimientos del Es/No y Eb/No en Tx satelital para DVB-S2.
- Cuadro 14: Requerimientos del Es/No y Eb/No en Tx satelital para DVB-RCS.
- Cuadro 15: Relación Portadora a Densidad de Ruido y Portadora a Ruido ascendente.
- Cuadro 16: Relación Portadora a Densidad de Ruido y Portadora a Ruido descendente
- Cuadro 17: Requerimiento de Eb/No en base a C/N del sistema.
- Cuadro 18: Requerimiento de Eb/No en base a C/N del sistema.
- Cuadro 19-25: Requerimiento de Eb/No en base a C/N del sistema.
- Cuadro 26: Comparativo de costos servicio de internet satelital.
- Cuadro 27: Análisis de aptitud.
- Cuadro 28: Análisis de factibilidad.
- Cuadro 29: Análisis de aceptabilidad.

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO “ALPHA”:
- Cuadro Estadística uso de Internet en Bolivia Según base de Datos del Banco Mundial.
- ANEXO “BRAVO”
- Plan Nacional de Frecuencias en Banda Ka.
- ANEXO “CHARLIE”:
- Plan de Frecuencias en banda Ka AMAZONAS 3.
- ANEXO “DELTA”:
- Atenuación específica debido a los gases.
- ANEXO “ECHO”:
- Intensidad de lluvia rebasada durante 0,01 % de un año medio.
- ANEXO “FOXTROT”:
- Recomendación UIT-R S.1328-3 para SFS.
- ANEXO “GOLFO”:
- Datos técnicos del VENESAT-1 y TKSAT-1 banda Ka.
- ANEXO “HOTEL”
- Especificaciones Técnicas del Modem MDM2210.
- ANEXO “INDIA”:
- Datos técnicos de las portadoras del TKSAT-1.
- ANEXO “JULIET”:
- Asignación de frecuencias en banda Ka UIT.
- ANEXO “KILO”:
- Características técnicas de antenas 7,3 metros banda Ka.
- ANEXO “LIMA”:
- Características técnicas de antenas 0,76 metros banda Ka.
- ANEXO “MIKE”:
- Relación de Eb/No y probabilidad de error.
- ANEXO “NOVEMBER”:
- Niveles de señales con dos diámetros de antena.

ABREVIATURAS Y SUS SIGNIFICADOS

AAC:	Codificación Audio Avanzada (Advanced Audio Coding)
ABE:	Agencia Boliviana Espacial
ACSE:	Access Control and Signaling Equipment
AOR--W:	Región Oeste del Océano Atlántico
ACM:	Codificación y Modulación Adaptativa (Adaptive Coding and Modulation)
ALS:	Codificación Audio sin Pérdidas (Audio Lossless coding)
APSK:	Modulación por Desplazamiento de Fase y Amplitud (Amplitude and Phase Shift Keying)
ATM:	Modo de Transferencia Asíncrono (Asynchronous Transfer Mode)
AVC:	Codificación Vídeo Avanzada (Advanced Video Coding)
AWGN:	Ruido Gaussian Blanco Aditivo (Additive White Gaussian Noise)
BB:	Banda de Base (BaseBand)
BCH:	code Código de Bose-Chaudhuri-Hocquenghem (Bose-Chaudhuri-Hocquenghem code)
BPSK:	Modulación por desplazamiento de fase binaria (Binary Phase Shift Keying)
BER:	<i>Bit Error Rate</i>
CCM:	Codificación y Modulación Constantes (Constant Coding and Modulation)
C/N:	Relación Portadora/Ruido (Carrier to Noise Ratio)
CRC:	Verificación por Redundancia Cíclica (Cyclic Redundancy Check)
DSNG:	Periodismo Electrónico Digital por Satélite (Digital Satellite News Gathering)
DTH:	Directa al Hogar (Direct To Home)

DVB:	Proyecto de Radiodifusión de Vídeo Digital (Digital Video Broadcasting project)
DVB S:	Sistema DVB para radiodifusión por satélite (DVB System for satellite broadcasting) DVB S2 Segunda generación de Sistema DVB para unidifusión y radiodifusión por satélite (Second generation DVB System for satellite broadcasting and unicasting)
DVB S2X:	Ampliaciones del Sistema DVB de segunda generación para unidifusión y radiodifusión por satélite (Extensions of the second generation DVB System for satellite broadcasting and unicasting)
FEC:	Corrección de errores sin canal de retorno (Forward Error Correction)
FPGA:	Disposición de Puertos Programables de Campo (Field Programmable Gate Array)
HEVC:	Codificación Vídeo de Gran Eficacia (High Efficiency Video Coding)
HUB:	Concentrador, centro
IBO:	Reducción de Potencia de Entrada (Input Back Off)
IP:	Protocolo Internet (Internet Protocol)
IRD:	Decodificador de Receptor Integrado (Integrated Receiver Decoder)
LDPC:	Verificación de Paridad de Baja Densidad (Low Density Parity Check)
LNB:	Bloque de Bajo Ruido (Low Noise Block)
MPEG:	Grupo de Expertos en Imágenes en Movimiento (Moving Picture Experts Group)
NCS:	Network Control Station
NCC:	Network Control Center
OBO:	Reducción de Potencia de Salida (Output Back Off)
PIRE:	Potencia Isotrópica Radiada Efectiva
PL:	Capa Física (Physical Layer)
PSK:	Modulación por Desplazamiento de Fase (Phase Shift Keying)

PRBS:	Secuencia Binaria Seudoaleatoria (Pseudo-Random Binary Sequence)
QAM:	Modulación por Amplitud en Cuadratura (Quadrature Amplitude Modulation)
QEF:	Casi sin Errores (Quasi Error Free)
QPSK:	Modulación en Cuadratura por Desplazamiento de Fase (Quadrature Phase Shift Keying)
RF:	Radiofrecuencia (Radio Frequency)
RS:	Reed-Solomon (Reed Solomon)
SDTV:	Televisión de Definición Convencional (Standard Definition Television)
SNR:	Relación Señal/Ruido (Signal to Noise Ratio)
SOF:	Comienzo de Trama (Start of Frame)
SRS:	Servicio de radiodifusión por satélite
TS:	Tren de Transporte (Transport Stream)
TVAD:	Televisión de Alta Definición
TVEAD:	Televisión de Extremadamente Alta Definición
TWTA:	Amplificador de Tubo de Ondas Progresivas (Traveling Wave Tube Amplifier)
TT&C:	Telémediación, Telemando y Control
VCM:	Modulación y Codificación Variables (Variable Coding and Modulation)
VL-SNR:	Relación Señal/Ruido Muy Baja (Very Low - Signal to Noise Ratio)
UIT:	Unión Internacional de Telecomunicaciones
UMSA:	Universidad Mayor de San Andrés
VSAT:	Very Small Aperture Terminal (Terminal de Apertura Muy Pequeña)

RESUMEN

En el artículo que se presenta, resumimos el trabajo del Proyecto de Grado, titulado “DIMENSIONAMIENTO DEL TRANSPONDER EN BANDA Ka DEL SATELITE TUPAC KATARI PARA EL USO DE LAS VSAT”, desarrollado en base a las fórmulas de ecuaciones impartidas en la carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Mayor de San Andrés, normativa vigente de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, complementados con la experiencia en el área de las telecomunicaciones satelitales. El trabajo está estructurado en capítulos: El Problema, Marco Teórico, Metodología de la investigación, Desarrollo de la Investigación, Propuesta del Proyecto, la respectiva Evaluación de la Propuesta y a la finalización del trabajo las conclusiones.

Los datos técnicos empleados para los respectivos cálculos matemáticos en este proyecto, son específicos, con resultados específicos, mismos que pueden ser empleados por las empresas de Telecomunicaciones nacionales o extranjeras que deseen prestar servicios de internet satelital, utilizando el segmento del transponder en banda Ka, del Satélite Tupac Katari (TKSAT-1).

Finalmente utilizando los resultados de los cálculos matemáticos, cumpliendo con los requisitos exigidos por la normativa vigente descritas en el presente trabajo, se procedió a la instalación de los equipos sugeridos in situ, elegidos como críticos para el uso del servicio de internet satelital con VSAT.

SUMMARY

In the article presented, we summarize the work of the Degree Project, entitled “SIZING OF THE Ka BAND TRANSPONDER OF THE TUPAC KATARI SATELLITE FOR THE USE OF VSATs”, developed based on the equation formulas taught in the Electronic Engineering degree. from the Universidad Mayor de San Andrés, current regulations of the International Telecommunications Union, complemented with experience in the area of satellite telecommunications. The work is structured in chapters: The Problem, Theoretical Framework, Research Methodology, Research Development, Project Proposal, the respective Evaluation of the Proposal and at the end of the work the conclusions.

The technical data used for the respective mathematical calculations in this project are specific, with specific results, which can be used by national or foreign Telecommunications companies that wish to provide satellite internet services, using the Ka-band transponder segment of the Tupac Katari Satellite (TKSAT-1).

Finally, using the results of the mathematical calculations, complying with the requirements demanded by the current regulations described in this work, the suggested equipment was installed on site, chosen as critical for the use of the satellite internet service with VSAT.

INTRODUCCIÓN

La tecnología electrónica actual ha permitido facilitar la exploración más allá de nuestra atmósfera y responder algunas preguntas que existía antes de explorar el espacio. Los lanzamientos de satélites al espacio no solamente tienen por objetivo explorar el espacio, ahora se utiliza entre sus variadas aplicaciones para las Telecomunicaciones, siendo el único sistema capaz de llegar con comunicación hasta el último rincón de la tierra a diferencia de los otros sistemas de Telecomunicaciones como son las redes Microondas, las redes de Fibra Óptica, las redes de cables alámbricas.

Bolivia lanzó el Satélite de Telecomunicaciones Túpac Katari, implementada con tres frecuencias de trabajo, los mismos son la banda C, la banda Ku y la banda Ka. Precisamente la banda Ka, es la más óptima y la más económica para el usuario, por su mayor ancho de banda, mayor velocidad y menor costo en infraestructura, el presente Proyecto de Grado tiene por objeto proponer el dimensionamiento del transponder en banda Ka del satélite Túpac Katari.

La experiencia de trabajo y estudios por más de 20 años en instituciones privadas, estatales en el área de satélites de telecomunicaciones, elaborando proyectos y ejecutando algunos, me permite aportar con un granito de arena para el dimensionamiento del transponder en banda Ka del satélite Túpac Katari.

CAPÍTULO PRIMERO

EL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1. Antecedentes.

En Latinoamérica se están completando proyectos orientados a cambios sociales en base a las telecomunicaciones, de acuerdo a la historia y datos estadísticos la implementación de redes de Telecomunicaciones promueven múltiples beneficios para el país con estas tecnologías de punta, este beneficio se plasma en educación, comunicación, incremento del turismo, inversión directa nacional o extranjera entre otros. El Banco Mundial realizó un estudio específico del Flujo de Inversión Directa “FDI”, que demuestra claramente, la incidencia de las Telecomunicaciones en el PIB de cada país.

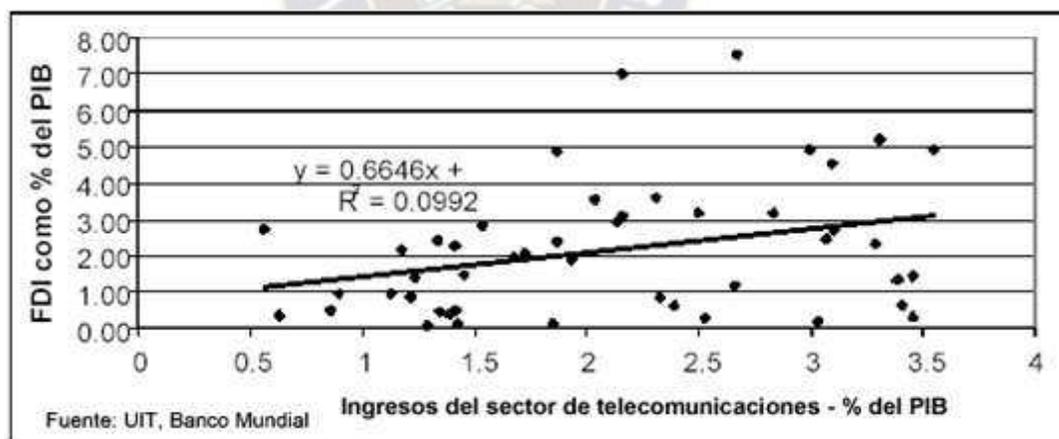


Grafico1: Los flujos de FDI son superiores en las economías con uso intensivo del sector de telecomunicaciones¹

¹ FUENTE. Documento de Discusión del Banco Mundial Nro. 432

Las empresas con presencia global, independientemente de su tamaño, tienden a establecerse en países que ofrecen infraestructura de telecomunicaciones e instalaciones que les brindan acceso global. Puede mostrarse que los ingresos de los pobres crecen con mayor rapidez en las economías con uso intensivo de telecomunicaciones, como se ilustra en el gráfico 1. En los últimos años, los ingresos del 20% de la población con menos recursos han experimentado un incremento acelerado en los países en donde el sector de telecomunicaciones despliega todo su potencial en la economía.

En Bolivia “los ingresos generados por el sector telecomunicaciones representan un porcentaje cercano al 5% del PIB estimado para la gestión 2016”²; de acuerdo al informe del Banco Mundial³, hasta el año 2020, en Bolivia tienen un 60% de la población el servicio de internet (véase Anexo “ALFA”), el resto no accede a la tecnología por su topografía y economía, siendo este aspecto más relevante en las zonas rurales y fronteras, lugares que no tienen en muchos casos acceso a las necesidades básicas como electricidad, telefonía y agua potable. Pero existe la posibilidad de emplear equipos modernos en el ámbito de las Telecomunicaciones que nos permita ampliar la cobertura de comunicaciones en Bolivia, tal es el caso del Satélite Túpac Katari que tiene entre sus transpondedores a la banda Ka que no es muy requerido, este viene a ser un problema ya que el recuperar la inversión incluye necesariamente la venta de todos los transponders.

Estos transponder en banda Ka, se las debe dimensionar adecuadamente para su venta y no sobrepasar su capacidad real requerida; para optimizar estos transponder, se debe realizar un minucioso estudio de la necesidad que tienen las empresas así como entidades gubernamentales sobre el ancho de banda requerido y lo que el TKSAT-1 puede ofrecer, teniendo en cuenta su cobertura y potencia de emisión del mismo satélite,

² Estado de situación de las telecomunicaciones en Bolivia, www.att.gob.bo, ATT. La Paz julio 2017 N°3

³<https://datos.bancomundial.org/indicador/IT.NET.USER.ZS?end=2020&locations=BO&start=1990&view=chart>

parámetros que son muy importantes tomar en cuenta a la hora de concretizar la venta de este servicio de comunicación satelital.

1.1.2. Indicadores.

Los indicadores del problema son la base suficiente para evitar pérdidas económicas y optimizar el empleo de los transponder en banda Ka.

- Falta socialización en áreas rurales sobre el servicio de internet en banda Ka.
- Falta competencia entre empresas de Bolivia en banda Ka.
- Servicio de internet satelital en banda Ku limitado.
- Requiere Infraestructura amplia para VSAT en banda Ku.

En Bolivia se está ingresando paulatinamente al uso de servicio de internet satelital, la cual es limitada debido a la banda Ku.

1.1.3. Causas.

- No existe estudio para uso de VSAT en banda Ka en Bolivia.
- Falta de confiabilidad en otros sistemas de Telecomunicaciones satelitales.
- No existe demanda en banda Ka.
- Desconocimiento de las tecnologías avanzadas en banda Ka.

Estas causas son debidas en su mayoría a que:

- No existe profesionales especializados en la banda Ka que es nueva para Bolivia.
- No existe estabilidad en los servicios de internet en banda Ka.
- Desconocimiento de las mayores velocidades y menor infraestructura en banda Ka.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo se debe realizar el Dimensionamiento del Transponder en banda Ka del Satélite Túpac Katari para el uso de las VSAT, en beneficio de los usuarios?

1.3. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

1.3.1. Delimitación temática

El presente trabajo de investigación se basará en la información existente del Satélite Túpac Katari y bibliografía sobre el uso de VSAT en banda Ka.

1.3.2. Delimitación temporal

Para el desarrollo de esta investigación se empleará información general desde el año 2012-2020.

1.3.3. Delimitación ámbito geográfico

El presente trabajo de investigación tendrá como área de trabajo la cobertura que tiene el Satélite Túpac Katari en banda Ka con sus dos transponder de 120 MHz cada uno.

1.4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Qué sistemas de telecomunicación satelital brindan mejores velocidades de comunicación garantizadas?
- ¿Qué parámetros se emplea para optimizar las comunicaciones satelitales en banda Ka en Bolivia?
- ¿Qué parámetros se debe tomar en cuenta para dimensionar los servicios de voz, datos y video en Telecomunicaciones satelitales en banda Ka?
- ¿Cómo se optimiza la inversión económica en los sistemas de comunicación satelital usando la banda Ka?

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

“Proponer el Dimensionamiento del Transponder en banda Ka del Satélite Túpac Katari para el uso de las VSAT en beneficio de los usuarios”.

1.5.2. Objetivos específicos

- Determinar que sistemas de telecomunicación satelital brindan mejores velocidades de comunicación garantizadas.
- Identificar parámetros que se emplean para optimizar las comunicaciones satelitales en banda Ka en Bolivia.
- Determinar los parámetros que se debe tomar en cuenta para procesar los servicios de voz, datos y video en banda Ka.
- Optimizar la inversión económica en los sistemas de comunicación satelital usando los transpondedores en banda Ka.

1.6. JUSTIFICACIÓN

La tecnología de las comunicaciones facilita el trabajo, orientando a las empresas para obtener resultados positivos en sus utilidades; en el ámbito de los servicios de telecomunicaciones de voz, datos y video la incidencia en la educación, salud y negocios es notoria en usuarios de otros países, que emplean cotidianamente estos servicios para comunicación a nivel mundial.

El dimensionamiento adecuado del transponder en banda Ka, del Satélite Túpac Katari, beneficiara a los usuarios con servicios de telecomunicaciones más ágiles y escalables con infraestructura mínima, que les permita realizar tráfico de voz, datos y video sin congestiónamiento.

La venta de servicio del transpondedor en banda Ka, se debe realizar de forma clara y precisa con un dimensionamiento optimizado, para recuperar en parte la inversión que se realizó en la construcción y ejecución de la puesta en órbita geostacionaria del Satélite Túpac Katari (TKSAT-1).

1.6.1. Interés

Este trabajo de investigación es de interés en el ámbito de las Telecomunicaciones, porque Bolivia ingresa a una nueva tecnología de las comunicaciones, los proveedores de Telecomunicaciones como Entel, Tigo, Viva por mencionar algunos, requerirán en el futuro estos servicios para lugares donde no pueden ingresar con cable o vía microondas (MW), además de los costos e infraestructura reducidos y mayores velocidades en voz, datos y video.

1.6.2. Factibilidad

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se cuenta con información actualizada de proyectos ejecutados en el exterior de los países que están a la vanguardia con estas nuevas frecuencias de trabajo para la comunicación satelital. La experiencia de trabajo marcará la diferencia en este tema, por el trabajo en sistemas de comunicaciones satelitales en banda C, banda Ku, para empresas privadas como estatales.

El estudio en cuestión se presenta como alentador ya que en Bolivia no se realizó este tipo de estudio en banda Ka, pero la información recibida por los docentes de la Carrera de Electrónica, Facultad de Ingeniería de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), fueron claras, que me permiten afrontar y realizar el presente trabajo de investigación.

1.7. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Durante el desarrollo del trabajo de investigación las mayores dificultades que se enfrentan son las siguientes:

- De acuerdo a carta dirigida a la Agencia Boliviana Espacial “ABE”, se designó dos Ingenieros para coadyuvar en mi Proyecto de Grado, pero debido a políticas de RR.HH., uno de ellos dejó de pertenecer a la ABE., en la gestión 2021; al mismo tiempo que el COVID 19, no me permitió interactuar de forma física con mi supervisor por problemas de salud.

- La Información es insuficiente en la página web de la ABE., en banda Ka del satélite Túpac Katari, para realizar cálculos de enlace satelital.
- No existe detalle de información de las portadoras de Tx/Rx de los transpondedores en banda Ka del satélite Túpac Katari.



CAPÍTULO SEGUNDO

MARCO TEÓRICO

2.1. FUNDAMENTO TEÓRICO GENERAL

2.1.1. Marco Histórico

2.1.1.1. Historia de los Satélites de Comunicación

El concepto mundial de comunicaciones por Satélite fue presentado por vez primera, en un artículo de Arthur C. Clarke, escritor de ciencia ficción, en la revista Inglesa "Wireless Word" en mayo de 1945. A continuación se cita un breve párrafo de dicho artículo, que comenta sobre el problema de las posiciones orbitales de los Satélites de Telecomunicaciones Geoestacionarios.

"Todos estos problemas se pueden resolver mediante una cadena de estaciones espaciales con un periodo orbital de 24 hrs, lo que exigirá que estén a 42 mil Km del centro de la tierra.

Existen varias disposiciones posibles de una cadena de este tipo, pero la ilustrada en el Grafico 2, es la más sencilla.

Las estaciones estarían ubicadas perpendicular y paralelo a la línea del ecuador terrestre, estos satélites de telecomunicaciones estarían estacionados en la órbita geoestacionaria, lo que permite tener visibilidad radioeléctrica entre los tres satélites con una órbita igual a la tierra vale decir 24 horas, en consecuencia las estaciones terrestres nunca tendrían aurora ni ocaso, lo cual simplificaría enormemente el uso de receptores direccionales instalados en la tierra"

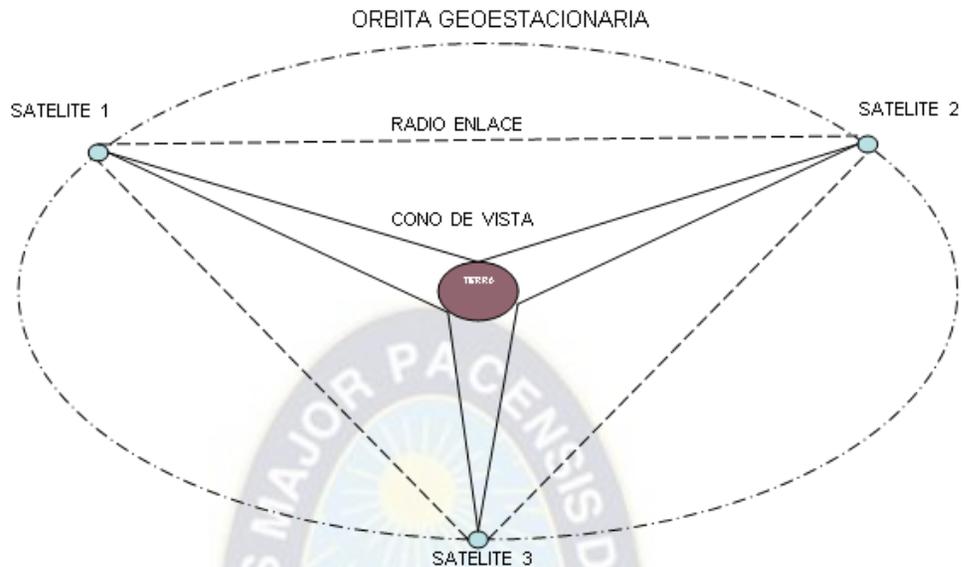


Grafico 2: Posicionamiento de tres satélites geoestacionarios
Fuente: Elaboración propia

La antigua URSS lanzó el Sputnik 1 al espacio el 4 de octubre de 1957, fue lanzado el primer Satélite del mundo. El Sputnik 1 era una esfera de aluminio (Grafico 3) de 58 centímetros de diámetro y pesaba 83 kilogramos. Contaba con instrumentos que durante 21 días enviaron información a la Tierra sobre radiación cósmica, meteoritos, la densidad y temperatura de las capas superiores de la atmósfera

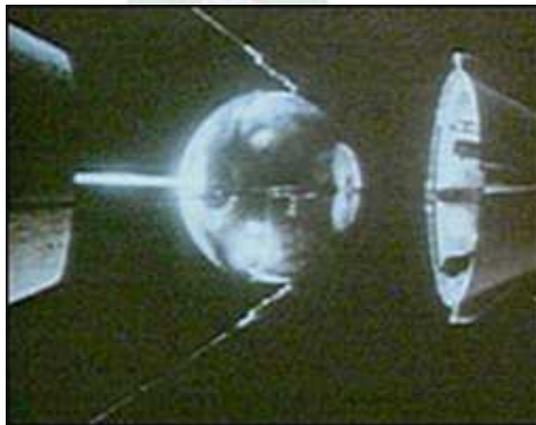


Grafico 3: El Satélite Sputnik 1 lanzado por la antigua URSS.

En 1960, el ECHO 1 que fue un Satélite de comunicación de investigación que solo reflejaba las señales enviadas sin ningún tipo de amplificación. En 1962, el TELSTAR I y el RELAY I que fueron Satélites que utilizaban un sistema de Tx y Rx incorporados que podían amplificar las señales. En 1964, SIMCOM III, fue el primer satélite Geoestacionario. En la actualidad no es posible precisar el número de Satélites que existen en órbita.

2.1.1.2. Satélite de Telecomunicaciones

Un satélite de Telecomunicaciones puede definirse como un repetidor de radio en el cielo (transponder), un sistema satelital consiste de un transponder, una estación basada en tierra, para controlar su funcionamiento, y una red de usuario, de las estaciones terrestres, que proporciona las facilidades para transmisión y recepción del tráfico de comunicaciones, a través del sistema de satélite.

Las transmisiones de satélite se catalogan como bus o carga útil, la de bus incluye mecanismos de control que apoyan la operación de carga útil, la de carga útil es la información del usuario que será transportada a través del sistema.

Uno de los requisitos más importantes del sistema es conseguir que las estaciones sean lo más económicas posibles para que puedan ser accesibles a un gran número de usuarios, lo que se consigue utilizando antenas de diámetro pequeño y transmisores de baja potencia.

Para que las comunicaciones del Satélite Túpac Katari, cumplan con los objetivos trazados en el Proyecto, es necesario implementar Telepuertos terrestres para transmitir y recibir señales del Satélite y también que particulares, entidades privadas o públicas deban instalar un número determinado de VSAT. (Very Small Aperture Terminal), para hacer uso del servicio de voz, video y datos que se tiene a través de estas pequeñas estaciones satelitales que están en cobertura terrestre.

2.1.2. Marco Referencial.

Los Satélites son diferenciados de la siguiente manera:

2.1.2.1. Satélites por su Órbita.

Satélite de Órbita Circular Polar.

Orbita única que puede ofrecer cobertura mundial total, con un solo Satélite, pero para ello se precisan varias órbitas. En términos de comunicaciones, se exige la transferencia instantánea de información, siendo posible obtener una cobertura mundial total con una serie de Satélites separados entre sí en tiempo y ángulo orbital. Sin embargo ello crea inconvenientes económicos, técnicos y operativos y por lo tanto esa órbita no se utiliza para las comunicaciones, no obstante se la emplea en algunos sistemas de Satélites de navegación, meteorológica y de tele observación de recursos terrestres.

Satélite de órbita baja

Este tipo de Satélite utiliza una órbita más baja que la que utiliza la Geoestacionaria, por esta razón este Satélite puede girar el planeta en menos de 24 hrs. Esta orbita es utilizada por ejemplo por los satélites para el sistema COSPAS SARSAT.

Satélite de Órbita Elíptica Inclinada

En este sistema la órbita elíptica tiene un ángulo de inclinación de 63 grados y un periodo orbital de 12 hrs. deliberadamente se hace visible al Satélite durante 8 hrs. de las 12 hrs. de su periodo orbital a fin de reducir al mínimo el problema de transferencia y ofrecer al mismo tiempo una substancial cobertura de las regiones templada y polar.

Con el uso de tres Satélites correctamente sincronizados es posible proporcionar cobertura ininterrumpida a una determinada región templada que no quedaría cubierta por otras órbitas.

Satélite de Órbita Circular Ecuatorial

Esta órbita del plano Ecuatorial permite utilizar un menor número de Satélites y estaciones terrenas. Los Satélites de periodos orbitales prolongados (de gran altura), cuenta con mayor visibilidad mutua. Un Satélite situado en órbita circular a 35.800 km tiene un periodo de 24 hrs. y por tanto parece estacionario respecto a un punto fijo de la superficie terrestre. Estos satélites son visibles desde un tercio de la superficie terrestre, razón por lo que es ideal para los sistemas de comunicación por satélite.

Satélite de órbita Geoestacionaria.- Se dice que un Satélite esta Geoestacionario, cuando esta, estático en relación a la rotación de la tierra, por eso el satélite gira 24 hrs, alrededor de la tierra, y se encuentra a la misma velocidad de la rotación de la tierra. El satélite que utilizaremos deberá estar en la órbita geoestacionaria, el mismo que es lo más recomendable para los satélites de observación de la tierra.

2.1.2.2. Satélite por su Servicio

A continuación se detallan estos tipos de Satélite

Satélites de Comunicación.- Se utilizan para traficar con información de canales telefónicos, y transmisión de datos todo esto en forma comercial para usuario común.

Satélites Broadcasting.- Empleada para transmisión de canales de televisión o imágenes.

Satélites Meteorológicos.- Prestan servicio de estados del tiempo.

Satélite de Radionavegación.- Sirven para la ayuda a la navegación de las embarcaciones en general.

Satélites de Investigación.- Empleados en la toma de imágenes sobre el comportamiento de la tierra.

Satélites Militares.- De servicio para las operaciones e investigaciones Militares.

Satélites de Radioaficionados.- Prestan servicios al común de las personas que están afiliadas a comunicaciones de radioaficionados.

2.1.2.3. Satélites por su peso.

Existen diferentes tamaños de satélites que se diferencian por su peso, los mismos pueden clasificarse de la siguiente manera:

Nano satélites. Son pequeños satélites que no pasan de alrededor de 50 cm, con un peso que va desde 1 Kg hasta 10 Kg en su peso total. Son de consumo mínimo en potencia y su vida útil está entre 1 a 3 años.

Micro satélite. Son satélites que tienen una altura de alrededor de 100 cm, variando su peso desde 11 Kg hasta los 100 Kg, el consumo de potencia esta alrededor de 100 Watts, su vida útil está diseñada hasta los 5 a 10 años.

Mini satélite. Son satélites con alturas promedio de 100 cm, hacia delante, cuyo peso va desde 101 Kg, el consumo de energía es alto el mismo está alrededor de 1000 Watts y su vida útil va de 10 años adelante.

Algunos aspectos de las comunicaciones satelitales se especificaran más adelante.

2.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS ESPECIFICOS.

2.2.1. Componentes del Sistema de Comunicación Satelital.

Un sistema de comunicaciones por satélite está compuesto por los siguientes elementos:

- Satélite artificial
- Centro de control
- Estación terrena

2.2.1.1. Satélite Artificial.

Constituye el punto central de la red y su función es la de establecer comunicaciones entre los diversos puntos de la zona en la que atiende. En un sistema puede haber más de un satélite, uno en servicio y otro de reserva (que puede estar en órbita o en tierra), o bien uno en servicio, otro de reserva en órbita y un tercero de reserva en tierra. La posición adoptada dependerá de la confiabilidad que se pretende obtener.

2.2.1.2. Centro de control.

Que también se le llama TT&C (telémediación, telemando y Control), realiza desde tierra el control del satélite.

2.2.1.3. Estación terrena.

Forma el enlace entre el satélite y la red terrestre conectada al sistema. Un sistema puede operar con algunas decenas o centenas de ellas, dependiendo de los servicios brindados.

2.2.2. Enlace ciudad y provincia a través del Satélite.

Generalmente las comunicaciones vía satélite se las utiliza para comunicación entre la ciudad y provincias como también entre provincias, esto ocurre con el uso de una red terrestre y una red satelital, el usuario de una red para comunicarse con la provincia primero llega a través de cable hasta un Telepuerto satelital, estación terrena que transmite hacia el satélite y este la retransmite hacia las Vsat, que generalmente se encuentran en las provincias alejadas de las ciudades; para la comunicación provincia con la ciudad realiza el mismo recorrido pero en forma inversa.

Los sistemas de comunicación satelital pueden ser unidireccionales o bidireccionales. Esta red, es capaz de proporcionar servicios de red privada con amplio contenido multiservicio (datos, voz y vídeo), asimismo tiene la capacidad de soportar aplicaciones administrativas, datos, audio y vídeo de índole educativo, vídeo sobre demanda, comunicaciones de voz en menor escala, etc.

2.2.3. Redes Satelitales.

Las redes satelitales son configuradas de acuerdo a la demanda del usuario, las que podemos mencionar son del tipo estrella y malla o una combinación de ambas, conocida como red mixta, generalmente las Estaciones Terminales Remotas (VSAT.), están configuradas en tipo Estrella, por lo que todas las transmisiones se enrutan a través de la plataforma satelital hacia la Estación Terrena Maestra o HUB Satelital que lleva la configuración, control, monitoreo de la red y las funciones de asignación de recursos para el acceso a través de los canales de comunicación satelital.

La Estación Terrena o HUB dispone del equipamiento y software de gestión del sistema de manera tal que permite el tráfico y administración de las VSAT a través del Satélite.

2.2.4. Técnica de Múltiple Acceso Satelital.

El concepto de múltiple acceso involucra sistemas que permiten a una gran cantidad de estaciones terrenas interconecten sus enlaces de comunicaciones a través de un simple transponder. Las portadoras de las Vsat. Pueden ser moduladas por canales simples o múltiples que incluyen señales de voz, datos o video.

Existen varias implementaciones específicas de sistemas de múltiple acceso, pero existen solo tres tipos de sistemas fundamentales para la comunicación de los equipos de Telepuertos satelitales (HUB) y estaciones terminales remotas (Vsat) y son:

2.2.4.1. Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA).

Este tipo de sistemas, canalizan el transpondedor, usando múltiples portadoras, donde a cada portadora le asigna un par de frecuencias. El ancho de banda total dependerá del número de portadoras. Existen dos variantes de esta técnica: SCPC (Single Channel Per Carrier) y MCPC (Multiple Channel Per Carrier).

2.2.4.2. Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA).

El Acceso múltiple por división de tiempo está caracterizado por el uso de ranuras de tiempo asignadas a cada portadora. Existen otras variantes a este método, el más conocido es DAMA (Demand Access Múltiple Access), el cual asigna ranuras de tiempo de acuerdo a la demanda de canal.

2.2.4.3. Acceso Múltiple por División de Código (CDMA).

Es una técnica de modulación que convierte la señal en banda base en una señal modulada con un espectro de ancho de banda que cubre o se esparce sobre una banda de magnitud más grande que la que normalmente se necesita para transmitir la señal en banda base por sí misma. Es una técnica muy robusta en contra de la interferencia en el espectro común de radio y ha sido usado muy ampliamente en aplicaciones militares. Esta técnica se aplica en comunicaciones vía satélite particularmente para transmisión de datos a bajas velocidades.

2.2.5. Técnicas De Modulación.

Dentro de los sistemas digitales incluyen aquellos en los que existen portadoras analógicas de frecuencia relativamente alta, que se modulan mediante señales de información digital relativamente baja frecuencia y también los sistemas que manejan la transmisión de pulsos digitales, entre estas están:

Modulación Digital de Amplitud (MDA): Es la más sencilla técnica de modulación, que no es más que modulación por amplitud con portadora completa y doble banda lateral.

Modulación por Desplazamiento de Frecuencia (FSK): Es también relativamente sencilla y de baja eficiencia en modulación digital. La FSK es una forma de modulación de ángulo, de amplitud constante, parecida a la modulación convencional de frecuencia

(FM) pero la señal moduladora es una señal binaria que varía entre dos valores discretos de voltaje y no es una forma de onda analógica que cambia continuamente.

Modulación por desplazamiento de Frecuencia de Fase Continua (CP- FSK): Es una FSK binaria, pero las frecuencias de marca y espacio están sincronizadas con la rapidez de bits de la entrada binaria de acuerdo al demodulador, esto hace que exista problemas para seguir el cambio de frecuencia y por consiguiente puede tener errores.

Modulación por Desplazamiento de Fase (PSK): Es otra forma de modulación digital angular de amplitud constante. Se parece a la modulación convencional de fase, excepto que en la PSK la señal de entrada es una señal digital binaria y es posible tener una cantidad limitada de fases de salida.

Modulación por desplazamiento binario de fase (BPSK): Son posibles dos fases de salida para una sola frecuencia de portadora. Cuando la señal de entrada digital cambia de estado, la fase de la portadora de salida varía entre dos ángulos que están desfasados 180° . El ancho mínimo de banda necesario para la salida de la BPSK en el peor de los casos es igual a la frecuencia o rapidez de entrada de bits.

Modulación por desplazamiento cuaternario de fase (QPSK): PSK de cuadratura como a veces también se le llama, la QPSK es otra forma de modulación digital angular y de amplitud constante. Con esta codificación solo es posible cuatro fases de salida para una sola frecuencia de portadora, los datos de entrada se combinan en grupos de dos bits, entonces la rapidez de cambio en la salida es la mitad de rapidez de entrada de bits. Por lo tanto el ancho mínimo de banda necesario para la salida de QPSK en el peor de los casos es igual a la mitad de la frecuencia o rapidez de entrada de bits.

Existen variaciones de este tipo de modulación por fase como ser PSK de 8 fases (8-PSK), PSK de 16 fases (16 – PSK) y más fases de salida.

Modulación por amplitud y cambio de fase (APSK): Los estándares de transmisión satelital DVB-S2 y DVB-SH actualmente implementan modulación por cambio de fase de amplitud 16 y 32 (APSK).

APSK de 64 (64-APSK): Esta modulación tiene 4 estados de amplitud y diferentes fases de salida donde la amplitud está representada por círculos concéntricos lugar en donde se sitúa los símbolos. Existen más variaciones como ser 128APSK, 256APSK que permiten utilizar amplificadores no lineales, porque es robusto con respecto a los efectos de amplitud.

Modulación de amplitud en Cuadratura (QAM): es una forma de modulación digital, donde la información digital está contenida tanto en la amplitud como en la fase de la portadora transmitida.

Ocho QAM (8 – QAM): es una técnica de modulación que a diferencia de la (-PSK, la señal de salida de un modulador 8-QAM no es una señal de amplitud constante. En consecuencia la máxima frecuencia moduladora fundamental y la máxima rapidez de cambio de salida necesaria son igual a la tercera parte de la frecuencia o rapidez de bits de entrada.

Dieciséis QAM (16 – QAM): Como en la 16-PSK los datos de entrada se manejan en grupos de cuatro, variando en la salida, tanto la fase como la portadora de transmisión.

Con un modulador 16-QAM, hay cambio en la señal de salida, sea en su fase, su amplitud o en ambas cosas para cada cuatro bits de entrada, por lo tanto el ancho mínimo de banda es la cuarta parte de la frecuencia o rapidez de los bits de entrada. También existen variaciones como ser 64QAM, 256QAM, 1024QAM y 4096QAM.

2.3. BASE LEGAL

2.3.1. Constitución Política del Estado.

2.3.1.1. Decreto Supremo N° 423, 10 de febrero de 2010

Artículo 1°.- (Objeto) El presente Decreto Supremo tiene por objeto crear la Agencia Boliviana Espacial y determinar su naturaleza jurídica, patrimonio, presupuesto, domicilio legal, estructura, funciones y atribuciones.

Artículo 2°.- (Creación y naturaleza jurídica) Se crea la Agencia Boliviana Espacial, cuya sigla es “ABE”, como institución pública descentralizada de derecho público, con personería jurídica propia, autonomía de gestión administrativa, financiera, legal y técnica, y patrimonio propio, bajo tuición del Ministerio de Obras Públicas, Servicios y Vivienda.

Artículo 3°.- (Objeto de la institución) La Agencia Boliviana Espacial tiene por objeto, inicialmente, gestionar y ejecutar la implementación del Proyecto Satélite de Comunicaciones Túpac Katari.

2.3.1.2. Ley N° 087 De 2 De Marzo De 2011

Artículo Único.

- I.** De conformidad a lo establecido en la atribución 10ª, parágrafo I del Artículo 158 de la Constitución Política del Estado, apruébese el Contrato de Préstamo, suscrito entre el Estado Plurinacional de Bolivia y el Banco de Desarrollo de China el 23 de diciembre de 2010, por la suma de hasta \$us251.124.000,00 (DOSCIENTOS CINCUENTA Y UN MILLONES CIENTO VEINTICUATRO MIL 00/100 DÓLARES ESTADOUNIDENSES), destinados a financiar el Proyecto “Satélite de Comunicaciones Túpac Katari”.
- II.** Se autoriza a la Agencia Boliviana Espacial (ABE) la obtención de todos los seguros requeridos dentro el Contrato de Préstamo aprobado y el Contrato Comercial suscrito con la empresa Great Wall Industry Corporation de la República Popular China.

III. Se autoriza al Ministerio de Economía y Finanzas Públicas a través del Tesoro General de la Nación, asumir el repago de las obligaciones que sean contraídas en la ejecución del Contrato de Préstamo aprobado por la presente Ley.

2.3.1.3. Reglamento General de Telecomunicaciones D.S. N° 1391, 24 octubre 2012

Artículo Único.-

Se aprueba el Reglamento General a la Ley N° 164, de 8 de agosto de 2011, Ley General de Telecomunicaciones, Tecnologías de Información y Comunicación, para el Sector de Telecomunicaciones, que en Anexo forma parte integrante del presente Decreto Supremo.

Todos los aspectos complementarios que se requieran para la aplicación de la Ley N° 164 y del Reglamento General para el Sector de Telecomunicaciones, serán establecidos mediante Resolución Ministerial por el Ministerio de Obras Públicas, Servicios y Vivienda.

2.3.1.4. Ley N° 164 de 8 de agosto de 2011

Artículo 2. (OBJETIVOS). La presente Ley tiene por objetivos:

1. Garantizar la distribución equitativa y el uso eficiente del recurso natural y limitado del espectro radioeléctrico.
2. Asegurar el ejercicio del derecho al acceso universal y equitativo a los servicios de telecomunicaciones, tecnologías de información y comunicación, así como del servicio postal.
3. Garantizar el desarrollo y la convergencia de redes de telecomunicaciones y tecnologías de información y comunicación.
4. Precautelar la conservación del medio ambiente mediante el aprovechamiento responsable y planificado del espectro radioeléctrico, la instalación adecuada de infraestructura para el bienestar de las generaciones actuales y futuras.

5. Promover el uso de las tecnologías de información y comunicación para mejorar las condiciones de vida de las bolivianas y bolivianos.

2.3.1.5. Decreto Supremo N° 2104

Artículo 2.- (Modificaciones).

- I. Se modifica el numeral 1 del Artículo 4 del Reglamento General a la Ley N° 164, de 8 de agosto de 2011, Ley General de Telecomunicaciones, Tecnologías de Información y Comunicación para el Sector de Telecomunicaciones, aprobado por Decreto Supremo N° 1391, de 24 de octubre de 2012, modificado y complementado por el Decreto Supremo N° 1828, de 11 de diciembre de 2013, con el siguiente texto:
 1. **Respecto a los servicios de telecomunicaciones.-** Son servicios de telecomunicaciones, además de los servicios señalados en los incisos a), b), c) y d) del presente numeral, el Servicio de acceso a internet, Servicio de estación espacial, Servicio de estación terrena, Servicio público de voz sobre internet, Servicio local, Servicio móvil, Servicio de larga distancia nacional, Servicio de larga distancia internacional, Servicio de acceso público, Servicio de distribución de señales, Servicio de radiodifusión (estos servicios incluyen los de radio y televisión), Servicio de reventa, Servicio de valor agregado y aquellos que por avance tecnológico se generen y sean reconocidos por el Ministerio de Obras Públicas, Servicios y Vivienda mediante Resolución Ministerial.
 - a. **Servicios Portadores.-** Son los servicios prestados a través de una red pública de telecomunicaciones, que consisten en el establecimiento de enlaces punto - punto o punto - multipunto, a través de conexiones físicas o virtuales, para la transmisión de señales de datos a distintas velocidades, en la conformación de redes públicas o privadas que permitan efectuar comunicaciones codificadas, conmutadas o

dedicadas, entre equipos situados en lugares diferentes, sin causar cambio en la información transmitida de extremo a extremo.

2.3.1.6. Plan Nacional de Frecuencias PNF.

Ley General de Telecomunicaciones, Tecnologías de Información y Comunicación, Título II, Cap. Único, Art. 7, párrafo II, inciso 3. “Elaborar y aprobar el Plan Nacional de Frecuencias, aplicable en todo el territorio del Estado Plurinacional”, para la banda Ka (vea Anexo “BRAVO”)

2.3.2. Unión Internacional de Telecomunicaciones

La ONU, a través de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), regula las emisiones de Radio Frecuencia en las telecomunicaciones, mismas que se emplean en el Sistema de comunicación satelital, entre las que podemos mencionar RECOMENDACIONES GENERALES (Rec. ITU-R S.725); RECOMENDACIONES SOBRE EMISIONES ESPURIAS S.726-1; RECOMENDACIONES SOBRE EL AISLAMIENTO DE LA POLARIZACIÓN CRUZADA Reg. ITU-R S.727; RECOMANDACIONES DE E.I.R.P. OFF-AXIS.

2.4. HIPOTESIS

El dimensionamiento adecuado del Transponder en banda Ka del Satélite Túpac Katari permite conocer la capacidad, calidad, cantidad y disponibilidad con el que se prestara servicios de telecomunicaciones a los usuarios finales.

2.4.1. Variable Independiente.

El dimensionamiento del transponder en banda Ka, permite al satélite trabajar de forma eficaz y eficiente.

2.4.2. Variable Dependiente.

La calidad, capacidad y disponibilidad prestadas en servicios de telecomunicaciones satelitales permite mayor demanda de los usuarios finales.

CAPÍTULO TERCERO

METODOLOGÍA

3.1. GENERALIDADES.

La realización del presente trabajo de investigación sobre el dimensionamiento del transponder en banda Ka del Satélite Túpac Katari, exige contar con datos técnicos de primera mano, para lo cual la experiencia de trabajo en el área de comunicación satelital será fundamental.

3.1.1. Unidad De Análisis, Población Y Muestra

5.3.3.1. Unidades de análisis

La Agencia Boliviana Espacial (ABE), es administradora del TKSAT-1, a través de la empresa SUBE, ofrece servicios de internet en banda Ku y banda Ka, por consiguiente nuestra unidad de análisis será el Transponder en banda Ka del TKSAT-1.

5.3.3.2. Población

Se realizará el estudio sobre la cobertura que tiene el Satélite Tupac Katari en banda Ka en todo el territorio nacional, haciendo énfasis en las poblaciones fronterizas de difícil acceso donde se tiene menor potencia de recepción.

5.3.3.3. Muestra

El Tamaño De La Muestra

Cuando se hace una muestra probabilística (recordemos que estamos bajo el enfoque cuantitativo), en este caso no se requiere tener tamaño de muestra ya que nuestro enfoque es cualitativo respecto a los servicios que presta un sistema de telecomunicaciones satelitales en banda Ka, que solo existe uno en Bolivia, la misma es administrada por la Agencia Boliviana Espacial.

3.1.2. Tipos de investigación.

La investigación a ser realizada será exploratoria, descriptiva-cualitativa y explicativa.

3.1.2.1. Exploratoria.

Exploratoria, debido a que no se tiene claro el tema del procesamiento de la información en banda Ka en Bolivia, el trabajo de investigación con datos técnicos de primera mano y la experiencia a lo largo de varios años nos ayudara a entenderlo mejor.

3.1.2.2. Descriptiva.

Porque el trabajo de investigación nos permitirá tener una imagen clara y representativa sobre la beneficios de los transpondedores en banda Ka del satélite Túpac Katari.

3.1.2.3. Propositiva.

El tema de transpondedores en banda Ka, es muy utilizado en los países desarrollados, pero en Bolivia no es muy conocido, debido a un vacío de la información de este sistema de comunicación, el presente trabajo evaluara esta situación para proponer una solución a este vacío de la información en banda Ka.

3.1.3. Revisión y análisis bibliográfico.

Se realizó la revisión bibliográfica y análisis de documentos, informes técnicos, estudios realizados por la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), ABE, UIT, ATT, y otros.

3.1.4. Otros procedimientos.

Durante la investigación se recabara información técnica de otras empresas extranjeras que ofrezcan servicio de internet satelital en banda Ka y métodos de cálculo recientes para el dimensionamiento en transponders banda Ka.

CAPITULO CUARTO

DESARROLLO DE LA INVESTIGACION

4.1. SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN SATELITAL QUE BRINDAN MEJORES VELOCIDADES DE COMUNICACIÓN GARANTIZADAS.

Existen varios sistemas de telecomunicación satelital y espectros de bandas definidas, a continuación mostramos en el cuadro siguiente las frecuencias de trabajo asignadas a cada banda.

banda L	1 a 2 GHz
banda S	2 a 4 GHz
banda C	4 a 8 GHz
banda X	8 a 12 GHz
banda K _u	12 a 18 GHz
banda K	18 a 26,5 GHz
banda K _a	26,5 a 40 GHz
banda Q	30 a 50 GHz
banda U	40 a 60 GHz
banda V	50 a 75 GHz
banda E	60 a 90 GHz
banda W	75 a 110 GHz
banda F	90 a 140 GHz
banda D	110 a 170 GHz

Cuadro 1: bandas de frecuencias asignadas por la UIT.

Las Telecomunicaciones espaciales en las últimas décadas desarrollaron tres sistemas muy conocidos en el área de la comunicación espacial, el presente trabajo explicara brevemente y específicamente las bandas que más se utilizan en la actualidad; los aspectos negativos para la transmisión y recepción como ser el medio ambiente y atenuaciones propios de los equipos y dispositivos, fueron subsanándose paulatinamente, llegando a establecerse altas tasas Transmisión de la información, para cumplir con las exigencias de los usuarios que utilizan servicios satelitales, los sistemas más empleados son las siguientes:

Sistemas de comunicación en banda C.

Sistemas de comunicación en banda Ku.

Sistemas de comunicación en banda Ka.

4.1.1. Sistemas de Telecomunicación en banda C.

Este sistema de telecomunicación satelital tiene en la década de los años 70 sus inicios con gran éxito para usos Militares, con tecnología acorde a la época, en principio sus costos de adquisición, instalación e implementación fueron altos y de acceso limitado para familias con ingresos medios, al presente sus costos han reducido considerablemente gracias a la tecnología actual, pero aun así no es muy accesible por sus costos e infraestructura que requiere para su instalación.

Alrededor de unos cientos de satélites se han estacionado en la órbita geoestacionaria, brindando a millones de usuarios con la distribución de programas de televisión; en menor número datos y telefonía, uno de los sectores que más requieren de este sistema de Telecomunicación Satelital en banda C, es la industria Marítima y las instituciones de ayuda en desastres naturales.

4.1.1.1. Características técnicas de la Banda C.

Las características técnicas de un sistema de Telecomunicaciones en banda C, en términos generales o más comunes son las siguientes:

BANDA C	RECEPCION	TRANSMISION
Frecuencia	3700-4200 MHz	5925-6425 MHz
PIRE (Cobertura en tierra)	40 dBW hasta 50 dBW	
Ancho de banda (muy común)	36 MHz cada TPX	36 MHz cada TPX
Relación G/T	-10,7 hasta -7,7 dB/K -4,6 hasta -3,0 dB/K	-35,5 hasta -45 dB/K
Polarización	Lineal-Horizontal	Lineal-Vertical
Relación Señal a Ruido (S/N)	14 dB hasta 20 dB	14 dB hasta 20 dB

Cuadro 2: Datos generales de banda C

Fuente: Elaboración propia

Estos sistemas de comunicación satelital trabajan en las bandas de 4 GHz a 6 GHz, los diámetros de sus antenas son proporcionales a los rangos de onda entre 7,5 y 3,75 cm, esto hace que los diámetros de sus antenas sean mayores que las otras bandas en estudio.

4.1.1.2. Cobertura y limitación de la banda C.

La cobertura de la banda C es global tal como se demuestra en la gráfica 4 demarcada con las líneas blancas, es decir con una sola huella se puede cubrir y conectar con servicios de telecomunicación varios continentes.



Gráfico 4: cobertura en banda C del Satélite Intelsat 35e HTS⁴

⁴ <http://latamsatelital.com/intelsat-35e-hts-banda-c/>

Existe una limitación simple en su capacidad de transmisión de la información que es la frecuencia de la portadora, mientras más baja sea la frecuencia de la portadora el ancho de banda, será menor, esta afirmación se verifica con el teorema de Shannon-Hartley, con la siguiente formula:

$$C(\text{bps}) = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (2)$$

Donde:

C = Transmisión máxima de la información sin error en bits/seg

B = Ancho de banda en Hertz

S = Potencia de la señal en Watts

N = Potencia de ruido en Watts

Dicho de otra manera la ecuación (2) nos demuestra simplemente que a mayor ancho de banda y mayor potencia de la señal con relación al ruido, mayor es la capacidad del canal de comunicación, demuestra el límite máximo de transmisión de datos.

Las portadoras en uso no pueden ser reutilizadas limitando el ancho de banda; otro problema que atraviesa la banda C es la interferencia de los servicios móviles terrestres, con pérdidas de la señal TV satelital.

4.1.2. Sistemas de Telecomunicación en Banda Ku.

Los científicos observaron la necesidad de los usuarios, que exigían mayores anchos de banda, mayores velocidades de Tx/Rx, por lo que se realiza el estudio y ejecución para el uso de la banda Ku, con costos en principio mayores que la banda C, pero al llegar la tecnología digital estos costos fueron reduciendo para el usuario final, una parte importante fue menor diámetro de la antena y menor espacio a utilizar en la instalación,

ya que el diámetro de una antena parabólica también es inversamente proporcional a la frecuencia que se recibe.

4.1.2.1. Características Técnicas de la Banda Ku.

BANDA Ku	RECEPCION	TRANSMISION
Frecuencia	11,70 – 12,70 GHz 10,70 – 12,75 GHz	14,00 – 14,50 GHz 12,75 – 13,25 GHz
PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Equivalente) dependiendo del Has	46 dBW hasta 49 dBW FSS 50 dBW hasta 54dBW BSS	
Ancho de banda (muy común)	36 MHz cada TPX	36 MHz cada TPX
Relación G/T (borde de cobertura máxima del haz)	6 hasta - 14 dB/K 3 hasta 3,0 dB/K	-30 hasta -40 dB/K
Polarización	Lineal – horizontal	Lineal - Vertical
Relación Señal a Ruido (S/N)	10 dB hasta 14 dB	10 dB hasta 14 dB

Cuadro 3: Datos generales de banda Ku

Fuente: Elaboración propia

4.1.2.2. Cobertura y limitaciones de la Banda Ku.

La Banda Ku, de acuerdo a la UIT, es de uso civil, tiene limitación en la cobertura y pasible a interferencia ambientales como la lluvia, nevada y nubes, pero existen tecnologías que se adaptan a las variaciones del medio ambiente, implementadas para disminuir potencias o reducir velocidades de transmisión obteniendo enlaces confiables y estables con requerimientos mínimos.

Este sistema permite mayor velocidad de datos en la transmisión, pero la reutilización de sus portadoras no es posible en los satélites que trabajan en esta banda.

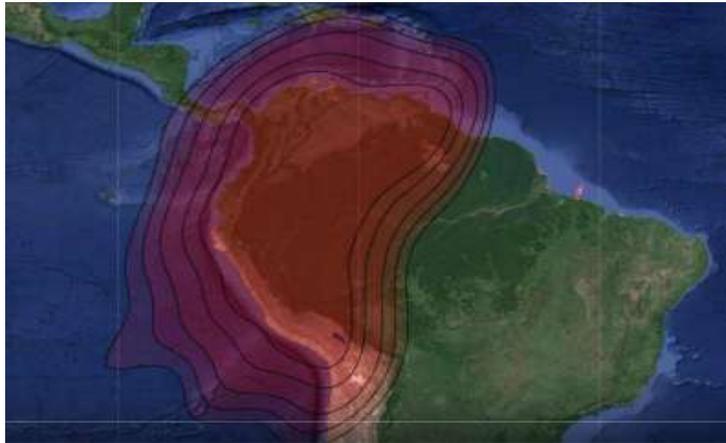


Grafico 5: Cobertura en banda Ku, SES 14

Fuente: <https://www.bcsatellite.net/es/mapas-de-cobertura-satelital/am%C3%A9ricas>

4.1.3. Sistemas de Telecomunicación en Banda Ka.

La necesidad de ocupar mayor ancho de banda y mayor velocidad en la comunicación satelital obligo a los desarrolladores de sistemas de comunicación satelital, el utilizar la banda Ka, pese a los problemas que era de conocimiento de los científicos, con el agua y las nubes al utilizar esta banda, por ejemplo la frecuencia de resonancia del agua H₂O es de 22.24 GHz, 1.35 cm de longitud de onda, que está en el rango de trabajo de la Banda Ka que es de 18GHz a 30GHz, como ejemplo el plan de frecuencias y cobertura del Amazonas 3 (vea Anexo “CHARLIE”).

Los desarrolladores lograron introducir este sistema al mercado mundial gracias a su reducida área de la antena y la velocidad que es requerida por el usuario cuando utiliza los sistemas de comunicación satelital, pero veamos a continuación sus características:

4.1.3.1. Características Técnicas de la banda Ka

Una de las tecnologías de mejor referencia en banda Ka, es la marca Hughes de origen Estadounidense, pero en este texto nos referiremos frecuentemente a marcas variadas como Newtec, Idirect, Hughes y otros.

La ABE, para la banda Ka utiliza la marca Newtec, de procedencia Europea, que tiene bastantes bondades técnicas para el acceso satelital.

BANDA Ka	RECEPCION	TRANSMISION
Frecuencia	19.7 - 20.2 GHz. 17,8 - 18,29 GHz	28,35 - 28,6 GHz 29,25 - 30 GHz
PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Equivalente)	46 dBW hasta 49 dBW 50 dBW hasta 56dBW	1W hasta 8W
Ancho de banda (muy común)	36 MHz cada TPX	36 MHz cada TPX
Relación G/T (borde de cobertura máxima del haz)	-6 hasta -14 dB/K -3 hasta -3,0 dB/K	-25 hasta -40 dB/K
Rango de Onda	1,11 cm – 7,5 mm	
Polarización	Circular	Circular
Relación Señal a Ruido (S/N)	8 dB hasta 10 dB	8 dB hasta 10 dB

Cuadro 4: Datos generales de banda Ka

Fuente: Elaboración propia

4.1.3.2. Cobertura y limitaciones de la Banda Ka



Grafico 6: Cobertura banda Ka, satélite Amazonas 3 de Hispasat

Fuente: <https://gadgerss.com/2014/02/02/primer-satelite-banda-ka-en-america-latina-amazonas-3-de-hispasat>

La Banda Ka, de acuerdo a la UIT, es de uso tanto civil como militar su cobertura es más limitada enmarcada a spot o beam, pequeñas áreas, pero la configuración de los satélites modernos, solucionaron esta Limitación para abarcar un área mucho mayor con varias antenas y optar el uso de células reutilizando la frecuencia; pero es necesario hacer conocer que es pasible a interferencia ambientales como la lluvia y las nubes.

4.2. PARÁMETROS QUE SE EMPLEA PARA OPTIMIZAR LAS COMUNICACIONES SATELITALES EN BANDA KA EN BOLIVIA.

El servicio satelital en Banda Ka, en Bolivia se implementó en la gestión 2018 utilizando los dos transpondedores del satélite Tupac Katari que son de 120 MHz de ancho de banda cada uno, en principio el servicio fue de mala calidad con cortes en los enlaces para el usuario, para subsanar estos inconvenientes aplicaremos lo aprendido en la materia de Sistemas de Telecomunicaciones II ETN1011 y otras afines, de la carrera de Ingeniería Electrónica, UMSA., que nos proporcionó conceptos y ecuaciones los cuales se utilizaran en este trabajo de investigación que a continuación se detallan:

4.2.1. Consideraciones para enlaces satelitales.

Existen varios parámetros que se toman en cuenta, a la hora de realizar el cálculo de enlace satelital, entre las más importantes a tomar son PIRE, relación Señal a Ruido, Rango de error del Bit (BER), calidad del enlace, pérdidas por propagación en lluvia, interferencia co-canal y transponder; pero describamos como estos conceptos se expresan a través de fórmulas matemáticas cuando es necesario expresarlos en números con referencia a las normas emanadas por la UIT.

4.2.1.1. Potencia Isotrópica Radiada Efectiva “PIRE”.

Definida por la siguiente ecuación

$$PIRE(Watts) = P_T \cdot G_T \quad \text{También se puede expresar en dBW}$$

$$PIRE(dBW) = P_T (dBW) + G_T(dBi) \quad (3)$$

Donde:

$P_T =$ Potencia total radiada de una antena (dBW)

$G_T =$ Ganancia de la antena transmisora en logaritmos (en dBi)

Para obtener PT se debe tomar en cuenta la potencia de salida P_t real del Tx (dBW), menos las pérdidas por respaldo del amplificador de potencia L_{bo} y las pérdidas de la sección de alimentación o circuito de acoplo L_c por lo que la PIRE quedaría.

$$PIRE(dBW) = P_t - L_{bo} - L_c + G_T \quad (4)$$

4.2.1.2. Temperatura equivalente de ruido T_e

Los términos figura de ruido o índice de ruido no se utilizan en sistemas satelitales a la hora de los cálculos, T_e es un término más exacto para expresar el ruido aportado por un receptor, al momento de evaluar su funcionamiento y se utiliza la temperatura ambiente (T) para determinar la potencia total del ruido.

$$N(\text{Watts}) = K.T.B \quad \Rightarrow \quad T(^{\circ}K) = \frac{N}{KB} \quad (5)$$

Donde:

$N =$ Potencia total del ruido (watts)

$K =$ constante de Boltzman (joules por kelvin)

$T =$ temperatura del ambiente (kelvin)

$B =$ ancho de banda (Hertz)

El factor de ruido se expresa:

$$NF = 1 + \frac{T_e}{T} \quad \text{Despejando } T_e$$

$$T_e (^{\circ}K) = T(NF - 1) \quad (6)$$

4.2.1.3. Pérdida de propagación en el espacio libre L_p

Al transmitir una onda electromagnética en el espacio libre ocurre un fenómeno en el recorrido de la señal correspondiente, que es la dispersión lo que degrada la señal causando la pérdida en el espacio libre, representado por la siguiente ecuación:

$$L_p(dB) = 10 \log\left(\frac{4\pi Df}{c}\right)^2 \quad (7)$$

$$L_p(dB) = 20 \log\left(\frac{4\pi Df}{c}\right)$$

Desarrollando para la frecuencia en GHz, se tiene:

$$L_p(dB) = 92.4 + 20 \log f(GHz) + 20 \log D(km) \quad (8)$$

L_p = Pérdida por trayectoria en el espacio libre

D = Distancia entre la antena terrestre y la antena del satélite

f = Frecuencia de transmisión

C = Velocidad de la luz

Es necesario conocer todos los efectos negativos en la transmisión de una señal de radio frecuencia y definir cómo influyen los estados climatológicos sobre el presupuesto del enlace satelital, estos aspectos están definidos como la atenuación por gases atmosféricos y la atenuación por hidrometeoros (lluvia, granizo y nevada).

Para la atenuación de gases y lluvia utilizaremos el gráfico 7.

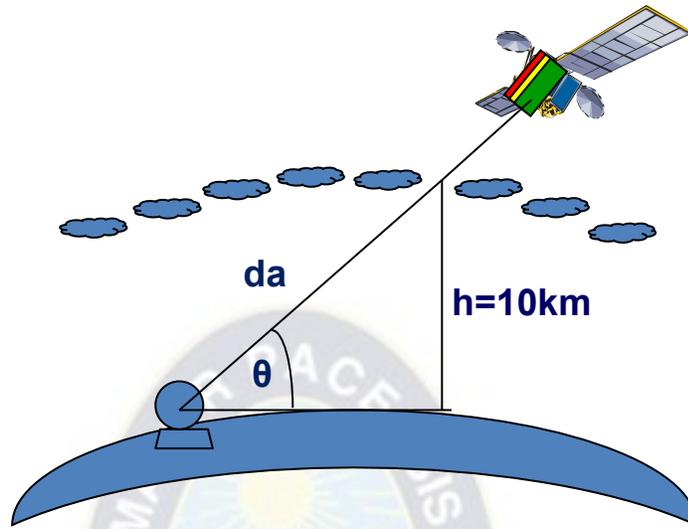


Grafico 7: Atenuación de gases atmosféricos y lluvia

Fuente: Elaboración Propia

$$L_g(dB) = (Abs) \times (da) \quad (9)$$

Donde:

da = distancia en Km, de la antena hasta las nubes o gases

Abs = (dB/Km) extraído para la frecuencia de trabajo (vea Anexo "DELTA")

En banda Ka, la atenuación por hidrometeoros es considerable, se debe tener en cuenta, por lo que se analiza su efecto empleando para el mismo la ecuación siguiente:

$$L_r(dB) = (\alpha) \cdot (da) \quad (10)$$

Donde:

$$\alpha = (a) \cdot R^b$$

$$a = 4.21 \times 10^{-5} F^{2.42} \quad \text{Frecuencia expresada en GHz}$$

$$b = 1.41 F^{-0.0779} \quad \text{Frecuencia expresada en GHz}$$

R = intensidad de lluvia en (mm/hr) (vea anexo “Echo”)

4.2.1.4.Densidad de Ruido N_o

Existe ruido térmico por diferentes factores en el ancho de banda que esta normalizado a 1 Hz y se la denomina Densidad de Ruido, expresada como:

$$N_o(dB) = \frac{N}{B} = KT_e \quad (11)$$

4.2.1.5.Relación de portadora a densidad de ruido

La señal de banda ancha posee una potencia de transmisión y es una potencia combinada de la portadora y sus bandas laterales asociadas, a este conjunto de señal electromagnética se lo denomina Potencia de portadora de banda ancha, que tiene relación sobre la densidad de ruido existente en un ancho de banda de 1Hz.

$$\frac{C}{N_o} = \frac{C}{Kte}$$

Expresada en dB se tiene

$$\frac{C}{N_o}(dB) = PIRE(dBW) + \frac{G}{T}(dB/^{\circ}K) - Lp(dB) - Lm(dB) - K(dBJ/^{\circ}K) \quad (12)$$

Donde

C = potencia de la portadora en banda ancha

Lm = pérdidas misceláneas

4.2.1.6.Relación de la densidad de energía de bit a densidad de ruido (E_b/N_o)

Como ya se mencionó anteriormente los sistemas satelitales utilizan generalmente modulación PSK o QAM, donde varios bits pueden codificarse en un solo elemento de señalización, a este proceso digital se conoce como energía por bit (E_b) representada por la ecuación:

$$E_b \left(\frac{J}{\text{bit}} \right) = \frac{C}{B_r} \quad (13)$$

Donde

$B_r = \text{velocidad binaria}$

La relación de energía bit a densidad de ruido es importante para comparar tasas de transmisión, diferentes esquemas de modulación o diferentes técnicas de codificación, matemáticamente se expresa en logaritmos como:

$$\frac{E_b}{N_o} (dB) = \frac{C}{N} + 10 \log \left(\frac{B}{R_b} \right) \quad (14)$$

4.2.1.7. Ganancia de la antena

En toda sistema inalámbrico el papel importante que tiene una antena es determinante para un buen enlace de la señal, en los enlaces satelitales las antenas son generalmente parabólicas, la definición de Ganancia de la antena G_r , se refiere a la relación que existe entre la potencia radiada por una antena isotrópica, a una distancia y a la densidad de potencia que radiaría la misma antena pero en una sola dirección, con igual cantidad de potencia entregada, expresada en log, la fórmula es la siguiente:

$$G_r (dB) = 10 \log \left[n \left(\frac{\pi D f}{c} \right)^2 \right] \quad (15)$$

Donde:

$n = \text{eficiencia de la antena (adimensional)}$

$D = \text{diámetro de la antena}$

$f = \text{frecuencia de la transmisión (GHz)}$

$c = \text{velocidad de la luz (Km/s)}$

4.2.1.8. Relación de ganancia a temperatura equivalente de ruido (G/T_e)

Para determinar la calidad de recepción en el satélite o en la estación terrena el valor de (G/T_e) que es una figura de mérito, son cifras que permiten evaluar la sensibilidad de las antenas receptoras debido a que trabajan con pequeñas potencias que hacen necesario que se instalen amplificadores de bajo ruido (LNB) en el punto de alimentación de la antena, matemáticamente se expresa en log, de la siguiente manera:

$$\frac{G}{T_e} (dB) = 10 \log\left(\frac{G_r}{T_e}\right) \quad (16)$$

4.2.2. Ecuaciones de enlace satelital

En todo sistema de comunicación se requiere realizar cálculos desde la emisión de la información hasta la recepción de la misma, en los sistemas satelitales se ha separado en dos partes estos cálculos los cuales son: cálculo del enlace de subida y cálculo del enlace de bajada, para ambas operaciones se toman datos estandarizados que se acercan a la realidad mínima y máxima en el momento del enlace satelital.

4.2.2.1. Ecuación del enlace de subida

El cálculo de la estación terrena al satélite, denominado cálculo del enlace de subida, sirve para conocer la calidad de nuestro sistema de telecomunicación ascendente, considerando las diversas pérdidas que se debe tomar en cuenta para el cálculo de la relación portadora a ruido (C/N), cuando el cielo está despejado, de la siguiente manera:

$$\frac{C}{N_o} (dB) = PIRE (dBW) - L_p (dB) + \frac{G}{T_e} (dB/^\circ K) - L_g (dB) - K (dBJ/^\circ K) - B (dB) \quad (17)$$

Si tenemos lluvia que es la condición máxima desfavorable para el enlace satelital se debe tomar en cuenta la atenuación respectiva, quedando la formula como sigue:

$$\frac{C}{N_o} (dB) = PIRE (dBW) - Lp (dB) + \frac{G}{T_{e(l)}} (dB/^\circ K) - L_g (dB) - K (dBJ/^\circ K) - B (dB) - L_{r(l)} (dB) \quad (18)$$

Donde:

$L_g =$ atenuación por gases atmosféricos de subida (dB)

$L_r =$ pérdidas por lluvia de subida

4.2.2.2. Ecuación de Enlace de Bajada

Para el enlace de bajada se toma los mismos pasos que en el enlace de subida, pero los parámetros y datos que se toman son de bajada, expresando de la siguiente forma:

$$\frac{C}{N} (dB) = PIRE (dBW) - Lp (dB) + \frac{G}{T_e} (dB/^\circ K) - L_g (dB) - K (dBJ/^\circ K) - B (dB)$$

Con lluvia:

$$\frac{C}{N} (dB) = PIRE (dBW) - Lp (dB) + \frac{G}{T_{e(l)}} (dB/^\circ K) - L_g (dB) - K (dBJ/^\circ K) - B (dB) - L_{r(l)} (dB)$$

$L_g =$ atenuación por gases atmosféricos de bajada (dB)

$L_r =$ pérdidas por lluvia de bajada

4.2.2.3. Calculo de la eficiencia del sistema

Con los resultados obtenidos en los párrafos anteriores se puede determinar la eficiencia total del sistema, con las siguientes expresiones matemáticas:

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{TETUP} (dB) = \frac{\left(\frac{C}{N}\right)_{ETUP} x \left(\frac{C}{I}\right)_{lm}}{\left(\frac{C}{N}\right)_{ETUP} + \left(\frac{C}{I}\right)_{lm}} \quad (19)$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{SI} (dB) = 10 \log \left(\frac{1}{\frac{1}{10 \left(\frac{C}{N}\right)_{TETUP}} + \frac{1}{10 \left(\frac{C}{N}\right)_{TVSATDW}}} \right) \quad (20)$$

$$\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_{SI} (dB) = \left(\frac{C}{N}\right)_{SI} (dB) - 10 \log \left(\frac{Lm.FEC}{1+Rolloff} \right) \quad (21)$$

Otros datos como ser el Angulo de elevación, distancia hacia el satélite entre otros que nos servirán para obtener la eficiencia y calidad del sistema satelital, se podrá obtener de las paginas web que algunos operadores de satélites que elaboraron programas para facilitar el cálculo del enlace satelital, en este caso utilizaremos el programa del www.dishpointer.com.

4.3. PARÁMETROS QUE DETERMINAN EL DIMENSIONAMIENTO DE VOZ, DATOS Y VIDEO EN TELECOMUNICACIONES SATELITALES.

4.3.1 Optimización del ancho de banda para manejo de Voz, Datos y Video.

Existen varias maneras de procesamiento y compresión de la información para optimizar el recurso ancho de banda, hoy en día los fabricantes lograron protocolos de compresión sobre la red IP bajo la regulación de la U.I.T. que norma y recomienda estándares ya experimentados que son confiables y estables en las redes de Telecomunicaciones satelitales, que a continuación detallamos.

4.3.1.1 Protocolo Voz sobre IP.

Protocolo que digitaliza la voz empaquetándola para ser transportada sobre la red de internet, pero veamos las recomendaciones óptimas para redes satelitales.

La UIT, en su recomendación UIT-R BO.1784-1 (12/2016), estandariza el uso del sistema DVB S2 detallado en el Grafica 8, que logra aumentar la capacidad de transmisión de la información incluyendo televisión digital a través de los sistemas de

telecomunicaciones satelitales, utilizando la norma MPEG2, que permite utilizar modulaciones en 64APSK o 64QAM que resulta en mayor eficiencia espectral en los símbolos pudiendo manejar de 0,5 a 4,5 bits dependiendo de la configuración de los transponders en los satélites de telecomunicaciones.

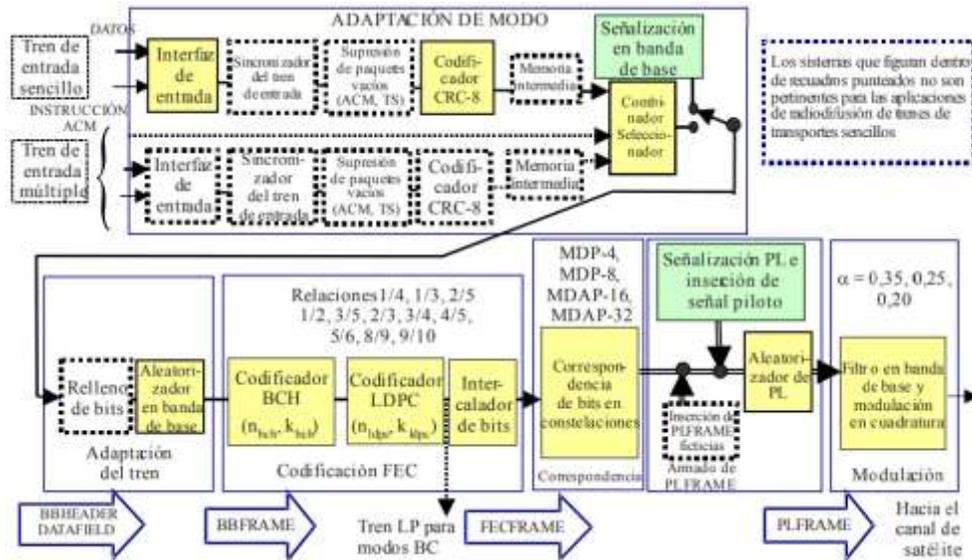


Grafico 8: Diagrama de bloques funcional del sistema DVB-S2

Fuente: Recomendación UIT-R BO.1784-1 (12/2016)

El DVB-S2 tiene mejor calidad de funcionamiento en la transmisión, aproximación al límite de Shannon y flexibilidad mayor en el receptor. El MPEG4 son codificadores que comprimen señales tanto voz como video, se adapta a cualquier modulación constante o adaptativa.

4.3.2 Ancho de banda Satelital.

El ancho de banda en sistemas satelitales es la debilidad que presentan estos sistemas de telecomunicaciones, influyendo en la velocidad de transferencia de la información, esta limitación de alguna manera en los satélites que usan enteramente todos los transponders en banda Ka se ha resuelto, teniendo una capacidad de decenas de GHz, en nuestro caso el análisis de la banda Ka en el Satélite Tupac Katari está definida de acuerdo a los datos

obtenidos de su página web del que se tiene como ancho de banda de 240 MHz con dos transponders cada uno de 120 MHz.

4.3.3 Numero de enlaces satelital

En banda Ka, la cobertura terrestre es limitada, el haz de llegada a la tierra generalmente esta de 300 a 600 km^2 , pero esta limitante hace que sea bastante escalable ya que puede reutilizar la frecuencias, “La técnica de Reúso de Frecuencias hace posible la utilización de uno o más rangos de frecuencias por una cantidad ilimitada de veces, las limitaciones se encuentran en las características físicas del satélite, como el peso, tamaño, precisión del haz y aislamiento entre beams”⁵, en la gráfica 9, se observa un ejemplo claro de esta configuración para abarcar el territorio Europeo en banda Ka.

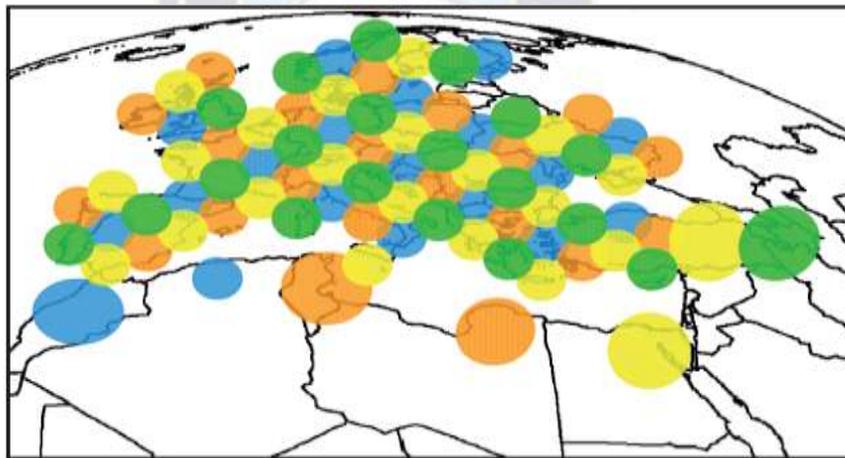


Grafico 9: Cobertura del Satélite Kasat de Eutelsat

Fuente: Memoria COMTECH- 2013-254-259

La banda Ka, en el Satélite Tupac Katari ya está instalada y según información en su página web, presta servicios actualmente, como lo hizo el Venesat 1, satélite de Venezuela que tiene las mismas características en banda Ka. El número de enlaces y el ancho de banda determinaran la velocidad para el usuario final que en esta banda es

⁵ Henry W. Merino Acuña, henry_merino@pucp.edu.pe, Pontificia Universidad Católica del Perú, Av. Universitaria 1801, San Miguel Lima – Perú

generalmente un servicio de Banda Base o superior, por la capacidades que tienen los satélites en banda Ka, como ser “el Satélite Kasat Europeo con 70 Gbps, el satélite ViaSat-1, con una capacidad de 140 Gbps, el Satélite Jupiter-1 con 100 Gbps”⁶, entre los que ya están en funcionamiento.

En Sudamérica el satélite Amazonas 3 ya presta servicios en tres bandas entre ellos la Banda Ka (vea Anexo “CHARLIE”)

4.3.4 Velocidad de transferencia satelital

La velocidad de transferencia en banda Ka como en otras bandas dependerá de la contención y el ancho de banda disponible en el enlace y la cantidad de usuarios finales que se conecten a cada sitio a determinarse en este estudio.

4.4. REDUCCION DE GASTOS ECONÓMICOS EN SERVICIOS, EQUIPOS E INFRAESTRUCTURA CON EL USO DE LA BANDA Ka.

El costo de uso de velocidades para el usuario final en banda Ka, en los países que utilizan esta tecnología satelital, a medida que fue generalizándose este uso fue disminuyendo, por ejemplo, la empresa Quantis ofrece 22 Mbps a 36 euros mensual, Widblue de EE.UU. ofrece 12 Mbps a 40 \$us, pero en México 2 Mbps cuesta 50 \$us, la oferta y el nivel económico de cada región causan diferencias abismales en cuanto al costo para el usuario final, pero aun así los costos se redujeron en comparación con los del servicio en banda Ku y mucho más el de banda C, que en promedio costo por mega esta 1400,00 bolivianos equivalentes a 200 \$us. En el siguiente cuadro se muestra los precios ofrecidos por las empresas adjudicadas en sus respectivos países que trabajan con el satélite Amazonas 3 de Hispasat, lo siguiente:

⁶ Henry W. Merino Acuña, henry.merino@pucp.edu.pe, Pontificia Universidad Católica del Perú, Av. Universitaria 1801, San Miguel Lima – Perú

País	Operador	Nombre del Plan	Downlink	Tope	Tarifa Mensual	Tarifa (USD)	
Brasil	Viasat Brasil	VSB MAXI 12	12 Mbps	10 GB	R\$ 249,90	105.04	
		VSB ULTRA 12	12 Mbps	25 GB	R\$ 499,90	210.13	
		VSB ULTRA 18	18 Mbps	30 GB	R\$ 739,90	311.01	
Chile	Movistar	Plan Básico	2 Mbps	3 GB	\$24,990	45.7	
		Plan Intermedio	3 Mbps	6 GB	\$29,990	54.85	
		Plan Avanzado	4 Mbps	9 GB	\$39,990	73.14	
		Plan Premium	6 Mbps	12 GB	\$49,990	91.43	
Colombia	Bansat	Información no disponible					

Fuente: Extraído de Viasat Brasil, Movistar Chile y Bansat Colombia.

Cuadro 5: Costos del servicio de internet satelital en Sudamérica

Fuente: <https://gadgerss.com/2014/02/18/internet-satelital-en-banda-ka-en-america-latina>

Ahora veamos los costos de equipamiento, es cierto que los equipos de banda Ka, al principio de su uso tenían altos costos que oscilaban entre los 3.000 \$us a 4000 \$us para los usuarios finales, en la actualidad estos equipos tienen costos promedios 890,00 \$us⁷, mejor aún existen empresas que entregan de forma gratuita (consignación) en convenio mientras dure el contrato del servicio de internet satelital.

La instalación de estas Vsat, para la banda C y Ku, requieren presupuestos mayores que los de banda Ka, en la que influyen claramente los volúmenes de la antena mayores a los de la banda Ka, reduciéndose de esta manera el transporte, material de instalación y finalmente el espacio reducido en el lugar de instalación final.

⁷ GlobalNet®, PRECIO DE VENTAS: \$16,999 pesos mxn incluye iva

CAPITULO QUINTO

PROPUESTA DEL PROYECTO

5.1. SISTEMA DE TELECOMUNICACIÓN SATELITAL CON MAYOR ANCHO DE BANDA Y VELOCIDAD TX/RX.

De lo expuesto en el Capítulo Cuarto, realizamos un cuadro comparativo para definir en principio y de acuerdo a la RECOMENDACIÓN UIT-R S.1328-3⁸, extraemos datos del anexo “FOXTROT” y de los cuadros 2, cuadro 3 y cuadro 4, para determinar banda que ofrece mayor ancho de banda y máxima velocidad en transmisión.

DETALLE	BANDA C	BANDA Ku	BANDA Ka
Ancho de Banda en cada sentido (MHz)	500	750	1500
Ancho de Banda por XPD (MHz)	30	36	120
Relación Señal a Ruido (S/N)	17 dB	12 dB	9 dB
Diámetro de antena Vsat (metros)	1,80	1,20	0,60

Cuadro 6: Cuadro comparativo de las bandas C, Ku y Ka

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia a simple vista, con datos generales la banda Ka ofrece mayores ventajas, que las banda C y banda Ku, pero sin embargo seguiremos avanzando en el análisis, basándonos en las formulas impartidas en la materia de Sistemas de Telecomunicaciones II ETN1011, de la carrera de Ingeniería Electrónica, UMSA.

De la ecuación (2) podemos determinar en principio matemáticamente la transmisión máxima en las bandas C, Ku, y Ka de la siguiente manera:

⁸ RECOMENDACIÓN UIT-R S.1328-3 Características de los sistemas de satélite que se han de tener en cuenta en los análisis de compartición de frecuencias entre sistemas de satélites geoestacionarios (OSG) y no OSG del servicio fijo por satélite (SFS) incluidos los enlaces de conexión para el servicio móvil por satélite (SMS).

$$C(\text{bps}) = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

C = máxima velocidad en transmisión

Para la banda C con datos de los cuadros correspondientes

$$\text{Ancho de banda } B = f_2 - f_1 = 500 \text{ MHz}$$

$$\text{Relación Señal a Ruido } \frac{S}{N} = 17 \text{ dB}$$

$$\frac{S}{N} = 17 \text{ dB} = 10 \log \left(\frac{S}{N} \right)$$

$$\frac{S}{N} = 10^{17/10} = 50.12 (\text{veces})$$

Remplazando los datos en la ecuación (2) tenemos:

$$C_{\text{banda C}} = 500 \times 10^6 \times \log_2 (1 + 50.12)$$

$$C_{\text{banda C}} = 2835000000 \text{ bps} \approx 2835 \text{ Mbps}$$

Para la banda Ku con datos de los cuadros correspondientes

$$\text{Ancho de banda } B = f_2 - f_1 = 750 \text{ MHz}$$

$$\text{Relación Señal a Ruido } \frac{S}{N} = 12 \text{ dB}$$

$$\frac{S}{N} = 12 \text{ dB} = 10 \log \left(\frac{S}{N} \right)$$

$$\frac{S}{N} = 10^{12/10} = 15.85 (\text{veces})$$

Remplazando los datos en la ecuación (2) tenemos:

$$C_{\text{banda Ku}} = 750 \times 10^6 \times \log_2 (1 + 15.85)$$

$$C_{\text{banda Ku}} = 3052500000 \text{ bps} \approx 3052.5 \text{ Mbps}$$

Para la banda Ka con datos de los cuadros correspondientes

Ancho de banda $B = f_2 - f_1 = 1500\text{MHz}$

Relación Señal a Ruido $\frac{S}{N} = 9\text{dB}$

$$\frac{S}{N} = 9\text{dB} = 10\log\left(\frac{S}{N}\right)$$

$$\frac{S}{N} = 10^{9/10} = 7.94(\text{veces})$$

Remplazando los datos en la ecuación (2) tenemos:

$$C_{\text{bandaKa}} = 1500 \times 10^6 \times \log_2(1 + 7.94)$$

$$C_{\text{bandaKa}} = 4740000000 \text{ bps} \approx 4740 \text{ Mbps}$$

Los resultados obtenidos anteriormente son en base a datos generales del cuadro 6 donde se refleja el Ancho de Banda disponible de acuerdo a la tabla de la UIT. Por consiguiente la banda Ka lleva ventaja en velocidad sobre las otras bandas de trabajo, pero adicionalmente en la banda Ka se puede reutilizar las frecuencias de las portadoras de acuerdo a la configuración que tenga en el satélite, permitiendo incrementar el ancho de banda en 2, 3, 4 o más veces y por su puesto velocidades mayores de transmisión de la información.

Banda C máxima posibilidad de transmisión 2835Mbps

Banda Ku máxima posibilidad de transmisión 3052.5 Mbps

Banda Ka máxima posibilidad de transmisión 4740 Mbps

5.2. ELABORACION DEL PLAN DE FRECUENCIAS DEL TRANSPONDER EN BANDA Ka.

Para realizar los cálculos tomaremos datos extraídos de la página Web de la ABE. www.abe.bo (ver Anexo “GOLFO”), datos técnicos del MODEM Newtec modelo MDM2210 (ver Anexo “HOTEL”), si no se tiene datos técnicos requerido para el

cálculo mencionado, se utilizara datos similares proporcionados por otros satélites que trabajan en banda Ka y por supuesto del Venesat 1 (ver Anexo “GOLFO”), satélite Venezolano que en la banda Ka, tiene las mismas características que la del satélite Tupac katari, ambos satélites fueron construidos y lanzados por la empresa de Ciencia y Tecnología Aeroespacial de China (CASC), también lanzado basado en un modelo de plataforma llamado DFH-4.

DETALLE	DATOS TECNICOS ESPECIFICOS	OBSERVACION
Posición del Satélite	87.3° W	TKSAT-1
Ancho Banda TXD	120 MHz total	2 XPD total 240 MHz
Polarización	UP RHCP DW LHCP	Circular TKSAT-1
Potencia Satélite	50 W	TKSAT-1
PIRE satélite	54,5 dBW	Borde de Bolivia
Input Back Off (IBO)	2,5 dB	
Output Back Off (OBO)	1,0 dB	
G/T satélite	10 – 15 dB	
C/I Intermodulación	22.50 dB	
Densidad de Flujo de Potencia (SFD)	-84.00 dBW/m ²	
Diámetro E/T	7,3 metros	Amachuma
G/T Estación Terrena	36,7 dB/K	
Equipos banda Ka	Newtec Bélgica	Red Vsat TKSAT-1
Contención	20/1	
G/T VSAT	18,6 dB/K	
Portadora outbound	2,048MHz	Rx VSAT
Portadora retorno	1024 MHz	Tx VSAT
Potencia VSAT	2 W	

Cuadro 7: Datos técnicos E/T Amachuma, TKSAT-1 y VSAT

Fuente: Elaboración Propia

5.2.1. Rangos de Frecuencia utilizados.

De acuerdo a la página web de la ABE (vea Anexo “GOLFO”), el ancho de banda del Satélite TKSAT-1, es de 120 MHz por cada XPDR por dos, hacen un total de 240 MHz, utilizando polarización circular RHCP y LHCP, para diseñar nuestro plan de frecuencias, la separación entre XPDR será en promedio el 10% de cada transponder y la separación entre XPDR de GATE WAY a Usuario es mínimo 120 MHz utilizada en los planes de frecuencia de otros satélites en banda Ka, y las recomendación ITU03⁹ para la región 2. Así mismo extraemos datos de la configuración del modem MDM2210 marca Newtec que utiliza la ABE, para el servicio de internet a través de la banda Ka (vea Anexo “INDIA”) con la que iniciamos nuestros cálculos para el Plan de Frecuencias:

Datos:

Portadora de Recepción $f_{P2} = 19.1815 \text{ GHz}$

Ancho de Banda XPDR $B_{XPDR} = 120 \text{ MHz}$

Separación entre XPDR $= 120(\text{MHz})_{TXP} \times 0,1 = 12(\text{MHz})$

De acuerdo a las recomendaciones de la UIT (véase Anexo “JULIET”) esta frecuencia está ubicada dentro las frecuencias 18.300 GHz a 19.300 GHz para frecuencias descendientes y de 28.100 GHz a 29.100 GHz para frecuencias ascendentes, entonces tenemos:

$$f_{C2} = f_{P2} (\text{GHz}) + \left(\frac{B_{XPDR}}{2}\right) \text{ GHz}$$

$$f_{C2} = 19.1815 \text{ GHz} + \left(\frac{0.120}{2}\right) \text{ GHz}$$

$$f_{C2} = 19.2415 \text{ GHz}$$

$$f_{C1} = 19.1815 \text{ GHz} - \left(\frac{0.120}{2}\right) \text{ GHz}$$

⁹ ITU 03, Radio Regulation, International Table of Frequency Allocations (ITFA) diciembre 2016

$$f_{c1} = 19.1215 \text{ GHz}$$

Obteniendo nuestras frecuencias de corte podemos dibujar ya nuestro primer transponder, pero antes calcularemos las demás portadoras y frecuencias de corte.

$$f_{c2} = 19.1215 \text{ GHz} - 0.012 \text{ GHz}$$

$$f_{c1} = 19.1095 \text{ GHz}$$

$$f_{p1} = 19.1095 \text{ GHz} - 0.060 \text{ GHz}$$

$$f_{p1} = 19.0495 \text{ GHz}$$

$$f_{c1} = 19.0495 \text{ GHz} - 0.060 \text{ GHz}$$

$$f_{c1} = 18.9895 \text{ GHz}$$

De la misma manera procedemos para las frecuencias descendientes del GATE WAY iniciando con 18.800 GHz, hasta encontrar los dos XPDR, pero notamos que las frecuencias encontradas están dentro el rango de 18.300 GHz a 18.800 GHz, rangos que en correspondencia para las frecuencias ascendentes están entre 28.100 GHz a 28.600 GHz.

Para la primera frecuencia de corte tomamos como dato 28.100 GHz y procedemos a encontrar las frecuencias de corte y las portadoras respetando los datos de ancho de banda del XPDR, separación entre XPDR y separación entre XPDR del GATE WAY y Usuarios, tabulando tenemos la siguiente tabla.

DETALLE	f_{c1} (GHz)	f_{p1} (GHz)	f_{c2} (GHz)	f_{c1} (GHz)	f_{p2} (GHz)	f_{c2} (GHz)
UP LINK GATE WAY	28.100	28.160	28.220	28.232	28.292	28.352
UP LINK USUARIOS	28.472	28.532	28.592	28.604	28.664	28.724
DW LINK GATE WAY	18.548	18.608	18.668	18.680	18.740	18.800
DW LINK USUARIOS	18.9895	19.0495	19.1095	19.1215	19.1815	19.2415

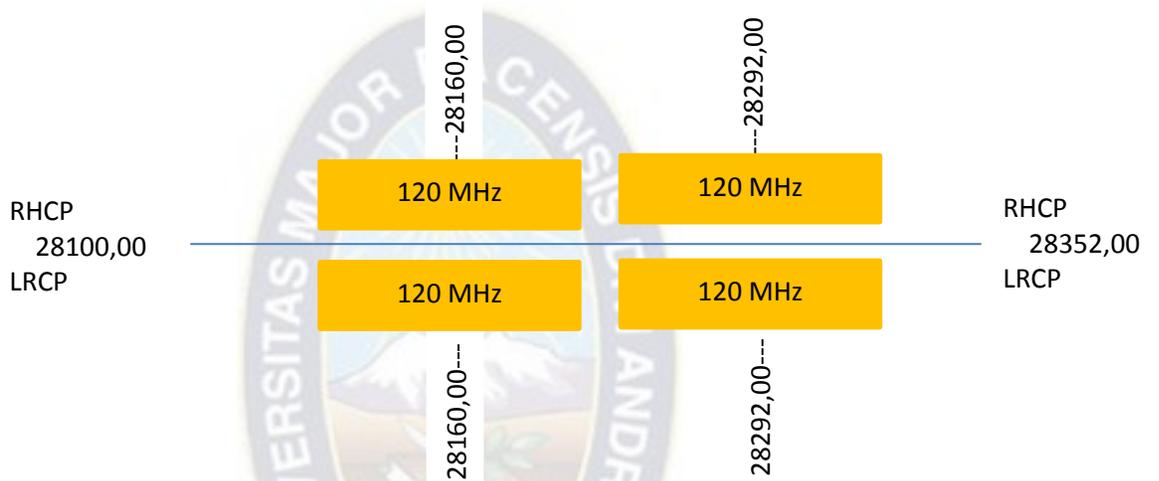
Cuadro 8: Plan de frecuencias en banda Ka del TKSAT-1

Fuente: Elaboración propia

Del Cuadro 8, podemos expresar en grafico nuestro plan de frecuencias TKSAT-1 de la siguiente manera:

PLAN DE FRECUENCIAS TKSAT-1 BANDA Ka

UP LINK GATE WAY



DW LINK GATE WAY



Fuente: Elaboración Propia

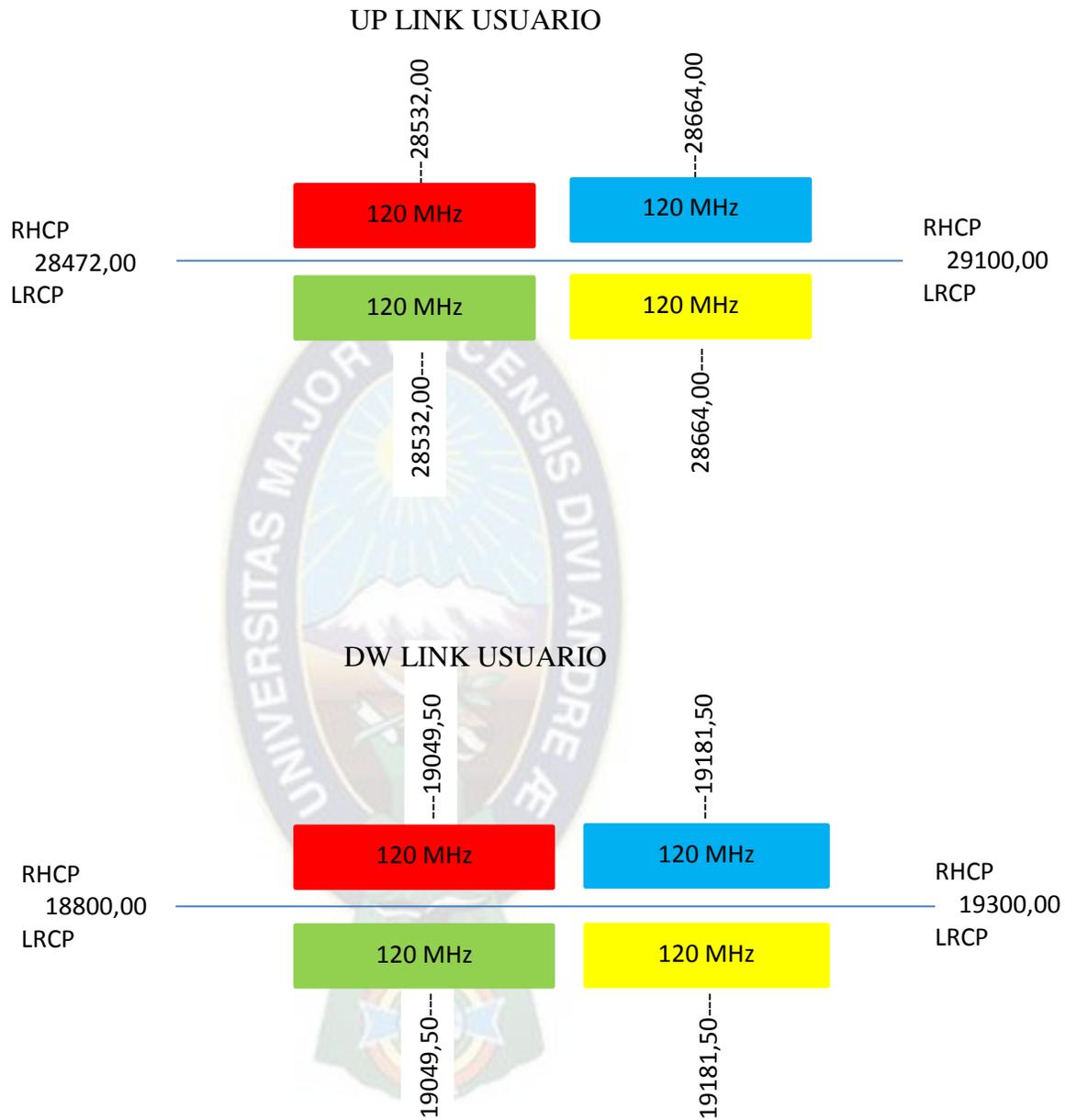


Grafico 11: Plan de frecuencias banda Ka TKSAT-1

Fuente: Elaboración propia banda Ka

5.2.2. Ganancia de la antena del GATE WAY y VSAT

La Estación Terrena (GATE WAY) de la ABE en banda Ka, nos permite conectarnos al Back Bone de internet en la nube, se encuentra en la localidad de Amachuma de la ciudad de La Paz, está equipada con una antena de diámetro 7.3 metros, para efectos de cálculos utilizaremos las Especificaciones técnicas de la antena de marca Newstar, modelo NS-SECK-730, que tiene las mismas características (véase Anexo “KILO”).

Para las estaciones remotas VSAT utilizaremos una antena de 0.76 m, esta decisión es en base a datos elaborados en laboratorio para antenas de 1.2; 0.60 y 0.45 m., que se muestra en el grafico 12, emitidas en el informe y recomendación ETSI TR 101 545-4 V1.1.1 (2014-04), donde se aprecia la radiación resultante de patrones, entre la línea roja y la línea verde no existe significativa diferencia en sus ganancias, en teoría una antena de diámetro mayor a la de 0.60 m se acercara más a la ganancia de la antena de 1.2 m de diámetro.

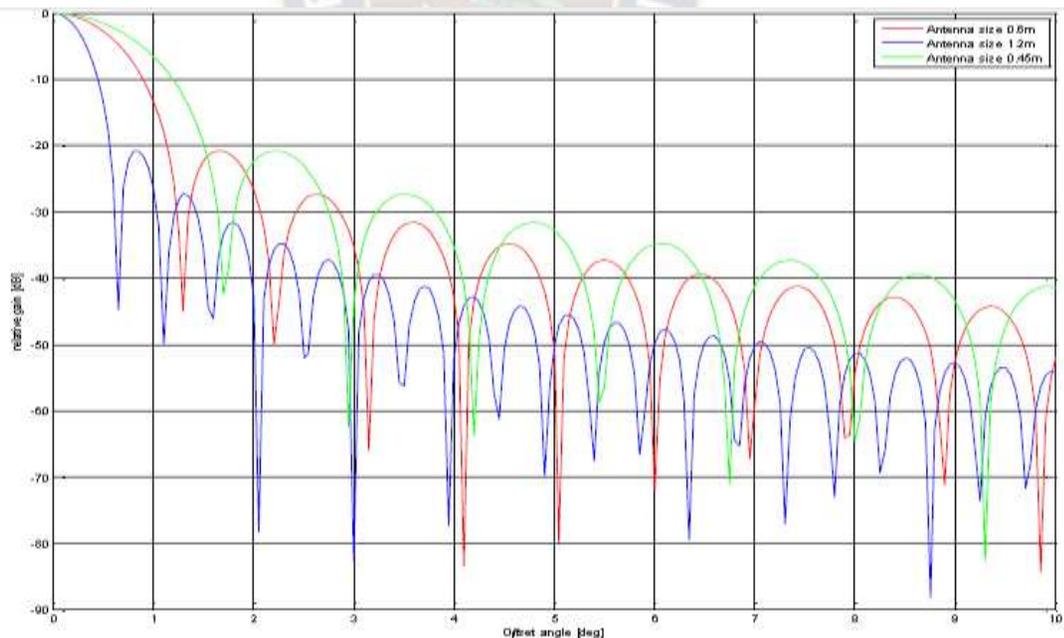


Figure 9.15: Analytical Radiation Pattern vs ϕ – Ka band terminals

Grafico 12: Radiación de patrones en antenas de diferentes diámetros

Fuente: Recomendación ETSI TR 101 545-4 V1.1.1 (2014-04),

También utilizaremos las frecuencias de las portadoras del plan de frecuencias en banda Ka expresadas en el cuadro 8 y la ecuación (15); iniciamos los cálculos en principio para la estación terrena (GW) que se encuentra en Amachuma.

Datos:

$n = 0,7$ eficiencia de la antena (adimensional)

$D = 7,3$ metros diámetro de la antena

$f = 28,160$ GHz, frecuencia de la transmisión de subida (UP)

$c = 3 \times 10^8$ m/s velocidad de la luz

$$G_{UP\ GW}(dB) = 10 \log \left[n \left(\frac{\pi D f}{c} \right)^2 \right]$$

$$G_{UP\ GW}(dB) = 10 \times \log \left[0,7 \times \left(\frac{\pi \times 7,3 \times 28,160 \times 10^9}{3 \times 10^8 \text{ m/s}} \right)^2 \right]$$

$$G_{UP\ GW}(dB) = 65.11066 \text{ dB} \approx 66.1107 \text{ dB}$$

Para la ganancia de la antena VSAT, utilizaremos la antena marca StarWin, modelo SWKA76-CP2, que tiene un diámetro de 0.76 metros, trabaja en la banda Ka (véase Anexo “LIMA”), asimismo utilizamos las frecuencias de las portadoras del plan de frecuencias en banda Ka expresadas en el cuadro 8.

Datos:

$n = 0.7$ eficiencia de la antena (adimensional)

$D = 0.76$ metros diámetro de la antena

$f = 28.532$ GHz, frecuencia de la transmisión de subida (UP)

$c = 3 \times 10^8$ m/s velocidad de la luz

$$G_{UPVSAT}(dB) = 10 \log \left[n \left(\frac{\pi D f}{c} \right)^2 \right]$$

$$G_{UPVSAT}(dB) = 10 \times \log \left[0,7 \times \left(\frac{\pi \times 0,76 \times 28,532 \times 10^9}{3 \times 10^8 \text{ m/s}} \right)^2 \right]$$

$$G_{UPVSAT}(dB) = 45.57446 (dB) \approx 45.5745 (dB)$$

Tabulamos para las diferentes frecuencias de las portadoras del cuadro 8 con las que conformamos nuestro siguiente cuadro:

DETALLE	PORTADORA f_{Px} (GHz)	GANANCIA G_x (dB)	DIAMETRO ANTENA (m)
UP LINK GATE WAY	28.160	65.1107	7.3
	28.292	65.1513	7.3
DW LINK GATE WAY	18.608	61.512	7.3
	18.740	61.6734	7.3
UP LINK VSAT	28.532	45.5745	0.76
	28.664	45.6146	0.76
DW LINK VSAT	19.0495	42.0655	0.76
	19.1815	42.1255	0.76

Cuadro 9: Ganancia de las antenas a diferentes frecuencias

Fuente: Elaboración propia

Como se observa la ganancia está directamente relacionada a la frecuencia de trabajo, el diámetro y la eficiencia de la antena.

5.2.3. Pérdida de propagación en el espacio libre (L_p)

Realizaremos cálculos para los cuatro puntos cardinales en el territorio de Bolivia ubicados en las fronteras, que se detalla a continuación:

- Comunidad Mategua, Provincia Itenez, Departamento del Beni.

- Comunidad Bella Flor Palacios; Provincia Nicolás Suarez, Departamento Pando
- Comunidad Sepulturas, Provincia Larecaja, Departamento de La Paz
- Comunidad Guadalupe, Provincia Sud Lipez, Departamento de Potosí

En estas cuatro comunidades se realizó el site survey para la instalación de las VSATs, en el grafico 13 se ubican objetivamente las cuatro comunidades y Amachuma.



Grafico 13: Poblaciones seleccionadas para el cálculo del enlace satelital

Fuente: Elaboración Propia

En la página Web de la ABE, se muestra el grafico 14, de la cobertura efectiva del PIRE en banda Ka sobre el territorio nacional, vemos que en la ventaja geográfica el PIRE es 54.5 dBW y como es de suponer las fronteras no gozan de la ventaja geográfica los cuales serían situaciones críticas para el cálculo de enlace hacia el satélite TKSAT-1.

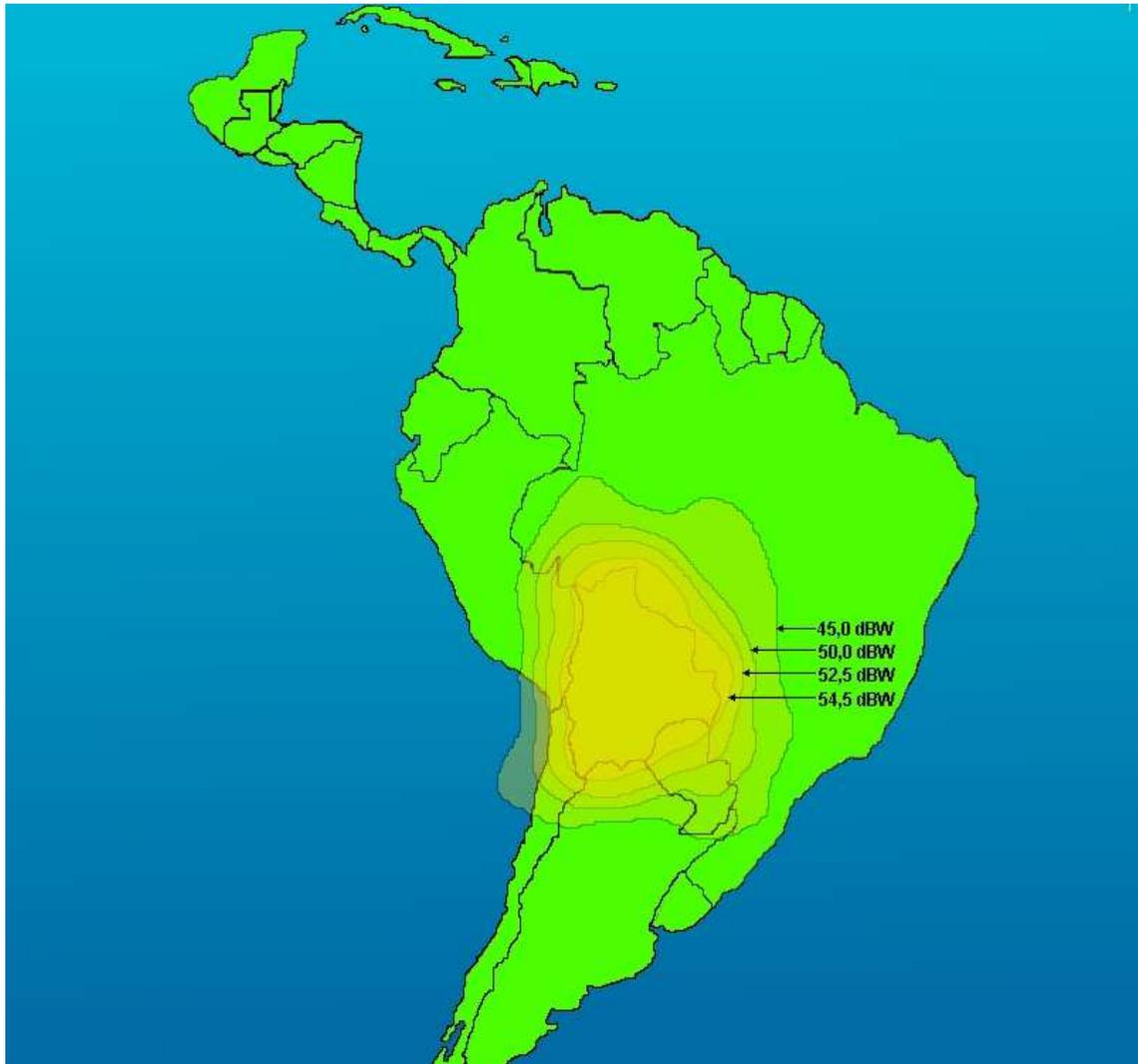


Grafico 14: Cobertura en banda Ka del satélite TKSAT-1

Fuente: Pagina Web ABE.

Recurrimos a la aplicación DISHPOINTER.COM¹⁰, para obtener algunos datos de las diferentes localidades seleccionadas incluyendo la localidad de Amachuma respecto al TKSAT-1, con la que formamos nuestra Cuadro 10.

DETALLE	AMACHUMA	MATEGUA	BELLA FLOR PALACIOS	SEPULTURAS	GUADALUPE
Longitud	68°07'46''W	62°46'17''W	67°37'43''W	69°09'44''W	66°30'50''W
Latitud	16°37'19''S	13°00'50''S	11°08'21''S	17°56'26''S	21°50'56''S
Azimut mag.	318,6°	310,,5°	309,2°	321,1°	323,3°
Elevación	60,6°	57,8°	63,9°	60,4°	55,2°
Distancia km	36497	36634	36358	36504	36771
Altura msnm	4150	166	220	4300	4164
Ancho Banda UP	120 MHz	1,024 MHz	1,024 MHz	1,024 MHz	1,024 MHz
Ancho Banda DW	120 MHz	2,048 MHz	2,048 MHz	2,048 MHz	2,048 MHz
PIRE dBw	54,5	54,5	54,5	54,5	54,5

Cuadro 10: Posición exacta de la Estación Terrena y VSATs

Fuente: Elaboración propia con datos de Dishpointer.com

Con los datos de las portadoras y distancias hacia el TKSAT-1, de los Cuadro 8, Cuadro 9 y cuadro 10, realizamos nuestras operaciones para el cálculo de pérdidas por espacio libre, utilizando la ecuación (8), se tiene:

Datos:

$D = 36497$ Km distancia de la antena E/T al satélite TKSAT-1

$f = 28.160$ GHz Frecuencia de transmisión

$C = 300000$ Km/s velocidad de la luz

$$L_p(dB) = 92.4 + 20 \log f(GHz) + 20 \log D(Km)$$

¹⁰ www.dishpointer.com

$$L_p(dB) = 92.4 + 20 \log(28.160) + 20 \log(36497)$$

$$L_p(dB) = 212.9 (dB)$$

Tabulamos en la calculadora para las diferentes posiciones de las localidades donde están instaladas la estación terrena Amachuma y las Vsat para realizar nuestro cuadro posterior.

5.2.4. Pérdida de propagación gases atmosféricos (L_g)

Las pérdidas por atenuación de gases atmosféricos la obtenemos utilizando la ecuación (9) y datos del gráfico curvas de atenuación por gases de la Recomendación UIT-R P.676-6 (véase Anexo “DELTA”).

Valga aclarar que la exactitud en la división de frecuencias no es muy detallada en el gráfico del anexo DELTA, por lo que se tomara datos lo más cercano posible a las frecuencias de las portadoras de referencia.

Para 28.292 GHz

$$L_g(dB) = (Abs)x(da)$$

$$da(km) = \frac{10 - 4.150}{\text{sen } 60.6^\circ}$$

$$da(km) = 6.7147 \text{ km}$$

$$L_g(dB) = (0.1dB/km)x(6.7147km)$$

$$L_g(dB) = 0.69147 \text{ dB}$$

Para 18.740 GHz

$$L_g(dB) = (0.09dB/km)x(6.7147km)$$

$$L_g(dB) = 0.6043 dB$$

De igual manera tabulamos para las diferentes frecuencias de las portadoras, ángulos de elevación y con los datos obtenidos en el cálculo de pérdidas en el espacio libre realizamos nuestro cuadro siguiente.

DETALLE		AMACHUMA D=36497km	MATEGUA D=36634km	BELLA FLOR D=36358km	SEPULTURAS D=36504km	GUADALUPE D=36771km
PERDIDAS PROPAGACION ESPACIO LIBRE	F _{P1} UP	212.6784	212.8244	212.7587	212.7935	212.8568
	F _{P2} UP	212.6378	212.7843	212.7196	212.7534	212.8168
	F _{P3} DW	209.2005	209.3353	209.2696	209.3045	209.3678
	F _{P4} DW	209.0391	209.2754	209.2097	209.2445	209.3078
PERDIDA GASES	UP LINK	0.6715	1.162	1.0909	0.6555	0.7124
	DW LINK	0.6043	1.0459	0.9818	0.5900	0.6412

Cuadro 11: Perdidas en el espacio libre y por gases atmosféricos
Fuente: Elaboración propia

5.2.5. Perdida de propagación por lluvia (L_r)

Para el cálculo de la atenuación por lluvia utilizamos la ecuación (10), cuadro 8 y la recomendación REC UIT UIT-R P.837 (vea Anexo “ECHO”) sobre la intensidad de lluvia. También nos basaremos en el estudio sobre la “*Estimación de intensidad de lluvia para estudios de propagación radioeléctrica en Bolivia*”¹¹.

$$L_r(dB) = (\alpha) \cdot (da)$$

¹¹ ESTIMATION OF RAIN INTENSITY FOR RADIO PROPAGATION STUDIES IN BOLIVIA
gustavosiles@upb.edu, publicación el 10 de junio 2018.

Datos: Estación Terrena Amachuma F=28.160 GHz

R=60 mm/hr

$$a = 4.21 \times 10^{-5} \times 28.160^{2,42}$$

$$a = 0.1356$$

$$b = 1.41 \times 28.160^{-0,0779}$$

$$b = 1.0871$$

$$\alpha(\text{dB/km}) = (0,1356) \times 60^{1,0872}$$

$$\alpha(\text{dB/km}) = 10.5775$$

$$L_r(\text{dB}) = (10.5775) \times (2.755)$$

$$L_r(\text{dB}) = 29.141 \text{ dB.}$$

Tabulamos en la calculadora para las diferentes frecuencias y lugares de instalación de las VSAT para formar nuestro cuadro siguiente:

DETALLE		AMACHUMA (dB)	MATEGUA (dB)	BELLA FLOR (dB)	SEPULTURAS (dB)	GUADALUPE (dB)
INTENSIDAD LLUVIA (R)		55 mm/hr	80 mm/hr	80 mm/hr	55 mm/hr	55 mm/hr
DISTANCIA OBLICUA		2755 m	2599 m	2566 m	2760 m	2923 m
UP	F _{P1}	29.438	42.8746	42.3159	30.3029	32.0896
LINK	F _{P2}	29.141	42.4315	41.8928	29.9965	31.768
DW	F _{P3}	12.5114	18.6037	18.3674	12.9813	13.748
LINK	F _{P4}	12.3433	18.658	18.4211	13.0201	13.789

Cuadro 12: Perdidas por lluvias

Fuente: Elaboración propia

5.3. CALCULO DE ENLACES SATELITAL EN BANDA Ka DEL TKSAT-1.

La transmisión de señales electromagnéticas en telecomunicaciones para que sean de calidad debe cumplir ciertos requisitos emanados en las recomendaciones ETSI EN 302 307 V1.2.1 (2009-08), tal como se muestra en el Cuadro 13. Utilizando DVB-S2 para las estaciones terrenas (GATE WAY). Si queremos saber cuál la eficiencia espectral máxima del sistema, primero debemos encontrar varios valores para lo cual utilizaremos la ecuación siguiente:

$$\frac{E_b}{N_o} (dB) = \frac{E_s}{N_o} - 10 \log(\eta_{total})$$

Donde:

$$\eta_{total} = \text{Eficiencia espectral}$$

$$\frac{E_b}{N_o} (dB) = -2,35 - 10 \log(0,490243)$$

$$\frac{E_b}{N_o} (dB) = 0,745885987 \text{ dB.}$$

Realizamos los cálculos de las codificaciones, modulaciones restantes de las recomendaciones mencionadas anteriormente, para obtener los valores de Eb/No y con los resultados complementamos nuestro Cuadro 13, por lo que tenemos:

MODULACION	CODIFICACION	EFICIENCIA ESPECTRAL	Es/No(dB) REQUERIDO	Eb/No REQUERIDO
QPSK	1/4	0,490243	-2,35	0,75
QPSK	1/3	0,656448	-1,24	0,59
QPSK	2/5	0,789412	-0,30	0,78
QPSK	1/2	0,988858	1,00	1,05
QPSK	3/5	1,188304	2,23	1,48
QPSK	2/3	1,322253	3,10	1,89
QPSK	3/4	1,487473	4,03	2,31
QPSK	4/5	1,587196	4,68	2,67
QPSK	5/6	1,654663	5,18	2,99
QPSK	8/9	1,766451	6,20	3,73
QPSK	9/10	1,788612	6,42	3,89
8QPSK	3/5	1,779991	5,50	3,00
8QPSK	2/3	1,980636	6,62	3,65
8QPSK	3/4	2,228124	7,91	4,43
8QPSK	5/6	2,478562	9,35	5,41
8QPSK	8/9	2,646012	10,69	6,46
8QPSK	9/10	2,679207	10,98	6,70
16APSK	2/3	2,637201	8,97	4,76
16APSK	3/4	2,966728	10,21	5,49
16APSK	4/5	3,165623	11,03	6,03
16APSK	5/6	3,300184	11,61	6,42
16APSK	8/9	3,523143	12,89	7,42
16APSK	9/10	3,567342	13,13	7,61
32APSK	3/4	3,703295	12,73	7,04
32APSK	4/5	3,951571	13,64	7,67
32APSK	5/6	4,119540	14,28	8,13
32APSK	8/9	4,397854	15,69	9,26
32APSK	9/10	4,453027	16,05	9,56

Cuadro 13: Requerimientos del Es/No y Eb/No en Tx satelital para DVB-S2

Fuente: ETSI EN 302 307 V1.2.1 (2009-08)

El cuadro 13 nos demuestra que existe requerimientos mínimos para los enlaces satelitales en la transmisión y recepción de la información digital, las que consideraremos para realizar y recomendar nuestro enlace en banda Ka del TKSAT-1.

De la misma manera para la transmisión de las VSAT hacia el satélite también existe requisitos mínimos como se ve en el Cuadro 14, de acuerdo a la recomendación ETSI

TR 101 545 V1.1.1 (2014-04), donde las opciones de modulación y codificación se reducen por el ancho de banda que manejan las VSATs en retorno al GATE WAY. Para complementar nuestro Cuadro empleamos la ecuación anterior y tenemos:

$$\frac{E_b}{N_o} (dB) = \frac{E_s}{N_o} - 10 \log(\eta_{total})$$

$$\frac{E_b}{N_o} (dB) = 0,00 - 10 \log(0,61)$$

$$\frac{E_b}{N_o} (dB) = 2,14670165 (dB)$$

Tabulamos para las demás codificaciones y formamos nuestro cuadro siguiente:

MODULACION	CODIFICACION	EFICIENCIA ESPECTRAL	Es/No(dB) REQUERIDO	Eb/No REQUERIDO
QPSK	1/3	0,61	0,0	2,15
QPSK	1/2	0,93	2,3	2,62
QPSK	2/3	1,30	3,9	2,76
QPSK	3/4	1,47	5,0	3,33
QPSK	5/6	1,64	6,1	3,95
8QPSK	2/3	1,75	8,2	5,77
8QPSK	3/4	1,98	9,3	6,33
8QPSK	5/6	2,19	11,0	7,60
16QAM	3/4	2,66	11,6	7,35
16APSK	5/6	2,96	13,0	8,29

Cuadro 14: Requerimientos del Es/No y Eb/No en Tx satelital para DVB-RCS

Fuente: ETSI TR 101 545 V1.1.1 (2014-04)

5.3.1. Cálculo del enlace ascendente.

5.3.1.5. Potencia de transmisión de la E/T y VSAT.

$$P_{ET} (dBW) = P_t (dBW) - L_{bo} (dB) - L_c (dB) \quad (22)$$

Datos:

$P_t = 250 \text{ Watts}$ Potencia del HPA de la E/T, se tomara 200 Watts como referencia

$L_{bo} = 3 \text{ (dB)}$ Perdida por respaldo del amplificador de potencia (back off HPA)

$L_c = 0,25 \text{ (dB)}$ Perdidas de la sección de alimentación o circuito de acoplo

$$P_t(\text{dBW}) = 10 \times \log(200 \text{ W})$$

$$P_t(\text{dBW}) = 23,0 \text{ (dBW)}$$

Remplazando en la ecuación (22) tenemos:

$$P_{ET}(\text{dBW}) = 23(\text{dBW}) - 3(\text{dB}) - 0,25(\text{dB})$$

$$P_{ET} = 19.75 \text{ (dBW)}$$

Potencia total de las VSAT.

$$P_{VSAT}(\text{dBW}) = P_t(\text{dBW}) - L_c(\text{dB})$$

Datos:

$P_t = 2 \text{ Watts}$ Potencia de la VSAT

$L_c = 0,25 \text{ (dB)}$ Perdidas de la sección de alimentación o circuito de acoplo

$$P_t(\text{dBW}) = 10 \times \log(2 \text{ W})$$

$$P_t(\text{dBW}) = 3,0102 \text{ (dBW)}$$

Remplazando en la ecuación (22) tenemos:

$$P_{VSAT}(\text{dBW}) = 3,0102(\text{dBW}) - 0,25(\text{dB})$$

$$P_{VSAT}(dBW) = 2,7602 (dBW)$$

5.3.1.6. Potencia Isotrópica Radiada Efectiva “PIRE”.

$$PIRE_{E/T}(dBW) = P_T(dBW) + G_{ET}(dB)$$

Remplazando datos:

$$PIRE_{E/T}(dBW) = 19,75 + 65.788$$

$$PIRE_{E/T} = 87.6616 (dBW) \quad \text{a } 28,292 \text{ GHz.}$$

$$PIRE_{E/T} = 87.621 (dBW) \quad \text{a } 28,160 \text{ GHz.}$$

$$PIRE_{VSAT} = 48.3348 (dBW) \quad \text{a } 28,532 \text{ GHz.}$$

$$PIRE_{VSAT} = 48.3749 (dBW) \quad \text{a } 28,664 \text{ GHz.}$$

5.3.1.7. Relación de portadora a densidad de ruido.

De la ecuación (12) y para la portadora 28.292 GHz Estación Terrena tenemos:

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_{ETUP} (dB) = PIRE(dBW) - \left(\frac{G}{T}\right)_{SAT} (dB/^{\circ}K) - L_p(dB) - L_g(dB) - K(dBJ/^{\circ}K)$$

Datos:

$$\frac{G}{T}(sat) = -10 (dB/^{\circ}K)$$

$$L_g = 0,615 (dB) \text{ Perdidas gases para Estación Terrena de Amachuma}$$

$$K = 1,38 \times 10^{-23} \text{ Constante de Boltzman}$$

$$K = 10 \times \log(1,38 \times 10^{-23}) = -228,6 (dBJ/^{\circ}K)$$

Reemplazando para cielo despejado:

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_{ETUP} (dB) = 87,66(dBW) + 10(dB/^{\circ}K) - 212,67(dB) - 0,61(dB) + 228,6(dB/^{\circ}K)$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_{ETUP} (dB) = 112,9682(dB)$$

De la ecuación (12) y para la portadora 28.664 GHz de las VSAT tenemos:

Datos:

$$\frac{G}{T}(sat) = -10 (dB/^{\circ}K)$$

$$L_g = 1,162 (dB) \text{ Perdidas por gases para Mategua}$$

Reemplazando para cielo despejado:

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_{VTUP} (dB) = 48,61(dBW) + 10(dB/^{\circ}K) - 212,82(dB) - 1,16(dB) + 228,6(dB/^{\circ}K)$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_{VSATUP} (dB) = 73,2282(dB)$$

De la misma manera realizamos las operaciones con los datos de portadores ascendentes de las demás localidades y formamos nuestro cuadro 15.

5.3.1.8. Relación de portadora a ruido.

Ancho de banda $B_{E/T-Sat} = 120 \text{ MHz}$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{ETUP} (dB) = \left(\frac{C}{N_o}\right)_{ETUP} (dB) - B_{E/T-Sat} (dB) \quad (23)$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{ETUP} (dB) = 112,9682(dB) - 10 \log(120Mbps)$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{ETUP} (dB) = 32,1764(dB)$$

Con lluvia $L_r(dB) = 29,438 (dB)$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{ETUPLL} (dB) = \left(\frac{C}{N}\right)_{ETUP} (dB) - L_r(dB)$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{ETUPLL} (dB) = 32,1764(dB) - 29,438(dB)$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{ETUPLL} (dB) = 32,1764(dB)$$

De igual manera procedemos a calcular para las VSAT.

Ancho de banda $B_{VSAT-Sat} = 1,024 \text{ MHz}$

De la ecuación (23).

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{VSATUP} (dB) = \left(\frac{C}{N_o}\right)_{VSATUP} (dB) - B_{VSAT-Sat}(dB)$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{VSATUP} (dB) = 73,2282(dB) - 10\log(1,024Mbps)$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{VSATUP} (dB) = 43,1252(dB)$$

Con lluvia $L_r(dB) = 42,8746 (dB)$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{VSATUPLL} (dB) = \left(\frac{C}{N}\right)_{VSATUP} (dB) - L_r(dB)$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{VSATUPLL} (dB) = 43,1252(dB) - 42,8746(dB)$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{VSATUPLL} (dB) = 0,2506(dB)$$

Con los datos calculados para las demás portadoras y poblaciones elaboramos nuestro Cuadro siguiente:

DETALLE		AMACHUMA (dB)	MATEGUA (dB)	BELLA FLOR (dB)	SEPULTURAS (dB)	GUADALUPE (dB)
Portadora 1	$\frac{C}{N_o}$	112,9682	73,2282	73,365	73,7656	73,6454
	$\frac{C}{N}$	32,1764	43,1252	43,262	43,6626	43,5424
	$\frac{C}{N}$ lluvia	2,7384	0,2506	0,9461	13,3597	11,4528
Portadora 2	$\frac{C}{N_o}$	112,912	73,2385	73,3743	73,7759	73,6556
	$\frac{C}{N}$	32,1199	43,1355	43,2713	43,6729	43,5526
	$\frac{C}{N}$ lluvia	2,9789	0,704	1,3785	13,6764	11,7846

Cuadro 15: Relación Portadora a Densidad de Ruido y Portadora a Ruido

Fuente: Elaboración propia

5.3.2. Cálculo del enlace descendente.

5.3.2.1. Potencia de transmisión en banda Ka del TKSAT-1.

De la ecuación (22)

$$P_T(dBW) = P_t(dBW) - L_{bo}(dB) - L_c(dB)$$

Datos:

$$P_t = 50 \text{ Watts Potencia del HPA del Transponder}$$

$L_{bo} = 1,5 (dB)$ Perdida por respaldo del amplificador de potencia (back off HPA)

$L_c = 0,25 (dB)$ Perdidas de la sección de alimentación o circuito de acoplo

$$P_t(dBW) = 10 \times \log(50 W)$$

$$P_t(dBW) = 16,989 (dBW)$$

Remplazando en la ecuación (22) tenemos:

$$P_T(dBW) = 16,989(dBW) - 1,5(dB) - 0,25(dB)$$

$$P_T = 15,23 (dBW)$$

5.3.2.2. Potencia Isotrópica Radiada Efectiva “PIRE”.

$$PIRE_{SAT}(dBW) = P_T(dBW) + G_{SAT}(dB)$$

Remplazando datos:

$$PIRE_{SAT}(dBW) = 15,23(dBW) + 39.04(dB)$$

$$PIRE_{SAT} = 54,27 (dBW) \text{ Potencia en el centro de haz}$$

$$PIRE_{ABE} = 54,5 (dBW) \text{ Dato en la página Web TKSAT-1}$$

5.3.2.3. Relación de portadora a densidad de ruido.

De la ecuación (12) y para la portadora 18.740 GHz Estación Terrena tenemos:

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_{ETDW} (dB) = PIRE(dBW) - \left(\frac{G}{T}\right)_{ET} (dB/^{\circ}K) - L_p(dB) - L_g(dB) - K(dBJ/^{\circ}K)$$

Datos:

$$\frac{G}{T} = -36,7 \text{ (dB/}^\circ\text{K)} \text{ De la antena de la Estación Terrena Amachuma}$$

$$L_g = 0,6043 \text{ (dB) Perdidas gases para Estación Terrena de Amachuma}$$

$$K = 1,38 \times 10^{-23} \text{ Constante de Boltzman}$$

$$K = 10 \times \log(1,38 \times 10^{-23}) = -228,6 \text{ (dBJ/}^\circ\text{K)}$$

Reemplazando para cielo despejado:

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_{ETDW} \text{ (dB)} = 54,5 \text{ (dBW)} + 36,6 \left(\frac{\text{dB}}{^\circ\text{K}}\right) - 209,1 \text{ (dB)} - 0,60 \text{ (dB)} + 228,6 \text{ (dBJ/}^\circ\text{K)}$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_{ETDW} \text{ (dB)} = 110,6565 \text{ (dB)}$$

De la ecuación (12) y para la portadora 19,1815 GHz de las VSAT tenemos:

Datos:

$$\frac{G}{T} = -18,6 \text{ (dB/}^\circ\text{K)} \text{ De la antena de las VSAT}$$

$$L_g = 1,0459 \text{ (dB) Perdidas por gases para Mategua}$$

Reemplazando para cielo despejado:

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_{VTDW} \text{ (dB)} = 54,5 \text{ (dBW)} + 18,6 \text{ (dB/}^\circ\text{K)} - 209,33 \text{ (dB)} - 1,04 \text{ (dB)} + 228,6 \text{ (dBJ/}^\circ\text{K)}$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_{VSATUP} \text{ (dB)} = 91,3188 \text{ (dB)}$$

De la misma manera realizamos las operaciones con los datos de portadores ascendentes de las demás localidades y formamos nuestro cuadro 16.

5.3.2.4. Relación de portadora a ruido.

Ancho de banda $B_{SAT-ET} = 120$ MHz

De la ecuación (23)

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{ETDW} (dB) = \left(\frac{C}{N_0}\right)_{ETDW} (dB) - B_{SAT-ET} (dB)$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{ETDW} (dB) = 110,6565 (dB) - 10 \log(120 Mbps)$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{ETDW} (dB) = 29,8647 (dB)$$

Con lluvia $L_r (dB) = 12,5114 (dB)$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{ETDWLL} (dB) = \left(\frac{C}{N}\right)_{ETDW} (dB) - L_r (dB)$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{ETDWLL} (dB) = 29,8647 (dB) - 12,5114 (dB)$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{ETDWLL} (dB) = 17,3533 (dB)$$

De igual manera procedemos a calcular para las VSAT.

Ancho de banda $B_{SAT-VSAT} = 2,048$ MHz

De la ecuación (23)

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{VSATDW} (dB) = \left(\frac{C}{N_0}\right)_{VSATDW} (dB) - B_{SAT-VSAT} (dB)$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{VSATDW} (dB) = 91,3188(dB) - 10\log(2,048Mbps)$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{VSATDW} (dB) = 58,2055(dB)$$

Con lluvia $L_r(dB) = 17,1618 (dB)$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{VSATDWLL} (dB) = \left(\frac{C}{N}\right)_{VSATDW} (dB) - L_r(dB)$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{VSATDWLL} (dB) = 58,2055(dB) - 17,1618(dB)$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{VSATDWLL} (dB) = 41,037(dB)$$

Con los datos calculados para las demás portadoras y poblaciones elaboramos nuestro Cuadro siguiente:

DETALLE		AMACHUMA (dB)	MATEGUA (dB)	BELLA FLOR (dB)	SEPULTURAS (dB)	GUADALUPE (dB)
Portadora 3	$\frac{C}{N_o}$	110,6565	91,3188	91,4486	91,8056	91,691
	$\frac{C}{N}$	29,8647	58,2055	58,3353	58,6923	61,588
	$\frac{C}{N}$ lluvia	17,3533	41,037	39,7031	45,521	47,6394
Portadora 4	$\frac{C}{N_o}$	110,1566	91,3651	91,4949	91,852	91,7374
	$\frac{C}{N}$	29,3648	58,2621	58,3816	58,7387	58,6344
	$\frac{C}{N}$ lluvia	17,0215	39,6584	40,0142	45,7574	44,8864

Cuadro 16: Relación Portadora a Densidad de Ruido y Portadora a Ruido descendente

Fuente: Elaboración propia

5.3.3. Cálculo de la eficiencia del sistema DVB-S2.

Para llegar a la eficiencia espectral se tomara la situación de cielo despejado, en el tramo Amachuma, Mategua para las frecuencias 28,292 GHz y 19,1815 GHz, respectivamente.

5.3.3.1. Cálculo C/N total ascendente.

Datos:

$$C/I=30,5 \text{ (dB)}$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{TETUP} \text{ (dB)} = \frac{\left(\frac{C}{N}\right)_{ETUP} \times \left(\frac{C}{I}\right)_{lm}}{\left(\frac{C}{N}\right)_{ETUP} + \left(\frac{C}{I}\right)_{lm}}$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{TETUP} \text{ (dB)} = \frac{32,1764 \text{ (dB)} \times 30,5 \text{ (dB)}}{32,1764 \text{ (dB)} + 30,5 \text{ (dB)}}$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{TETUP} \text{ (dB)} = 15,6579 \text{ (dB)}$$

5.3.3.2. Cálculo C/N total descendente DVB-S2.

Datos:

$$C/I=15,5 \text{ (dB)}$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{TVSATDW} \text{ (dB)} = \frac{\left(\frac{C}{N}\right)_{VSATDW} \times \left(\frac{C}{I}\right)_{lm}}{\left(\frac{C}{N}\right)_{VSATDW} + \left(\frac{C}{I}\right)_{lm}}$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{TVSATDW} \text{ (dB)} = \frac{58,2055 \text{ (dB)} \times 15,5 \text{ (dB)}}{58,2055 \text{ (dB)} + 15,5 \text{ (dB)}}$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{TVSATDW} \text{ (dB)} = 12,2404 \text{ (dB)}$$

Con los datos numéricos ascendentes y descendentes, calculamos C/N del sistema para obtener el Eb/No para el DVB-S2.

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{SI} (dB) = 10\log\left(\frac{1}{\frac{1}{10^{\left(\frac{C}{N}\right)_{TETUP}}} + \frac{1}{10^{\left(\frac{C}{N}\right)_{TVSATDW}}}}\right) (dB)$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{SI} (dB) = 10\log\left(\frac{1}{\frac{1}{10^{1,56579}} + \frac{1}{10^{1,22404}}}\right) (dB)$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{SI} (dB) = 10,611(dB)$$

5.3.3.3. Relación de la densidad de energía de bit a densidad de ruido.

Datos:

Lm = 2 índice de modulación

FEC = 1/2 Forw Error Correction

Rolloff = 0,2 porcentaje de modulación

Modulación QPSK

$$\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_{SI} = \left(\frac{C}{N}\right)_{SI} (dB) - 10\log\left(\frac{Lm \cdot FEC}{1 + Rolloff}\right)$$

$$\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_{SI} = 10,611(dB) - 10\log\left(\frac{2 \times 1/2}{1 + 0,2}\right)$$

$$\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_{SI} = 11,4028(dB)$$

El cuadro 17, demuestra los resultados de todos los modos de modulación de acuerdo a las recomendaciones ETSI EN 302 307 V1.2.1 (2009-08) del cuadro 13, para un enlace casi libre de errores, donde se debe cumplir un valor de Eb/No requerido.

DETALLE	AMACHUMA – MATEGUA PARA DVB-S2			
	28,292 GHz y 19,1815 GHz			
MODULACION	FEC	INDICE	(C/N) CALCULADO	Eb/No REQUERIDO
QPSK	1/2	2	10,611	11,4028
QPSK	3/5	2	10,611	10,6110
QPSK	2/3	2	10,611	10,1534
QPSK	3/4	2	10,611	9,6419
QPSK	4/5	2	10,611	9,3616
QPSK	5/6	2	10,611	9,1843
QPSK	8/9	2	10,611	8,9040
QPSK	9/10	2	10,611	8,8501
8QPSK	3/5	3	10,611	8,8501
8QPSK	2/3	3	10,611	8,3925
8QPSK	3/4	3	10,611	7,8810
8QPSK	5/6	3	10,611	7,4234
8QPSK	8/9	3	10,611	7,1431
8QPSK	9/10	3	10,611	7,0892
16APSK	2/3	4	10,611	7,1431
16APSK	3/4	4	10,611	6,6316
16APSK	4/5	4	10,611	6,3513
16APSK	5/6	4	10,611	6,1740
16APSK	8/9	4	10,611	5,8937
16APSK	9/10	4	10,611	5,8398
32APSK	3/4	5	10,611	5,6625
32APSK	4/5	5	10,611	5,3822
32APSK	5/6	5	10,611	5,2049
32APSK	8/9	5	10,611	4,9246
32APSK	9/10	5	10,611	4,8707

Cuadro 17: Requerimiento de Eb/No en base a C/N del sistema

Fuente: Elaboración propia

El valor de $E_b/N_0 = 7,0869$ resaltado en cuadro verde, se acerca más al valor requerido por la recomendación ETSI EN 302 307 V1.2.1 (2009-08), del cuadro 13, que corresponde a modulación 32APSK con $FEC=3/4$, que deberá ser utilizada para transmisión en cielo despejado como máxima eficiencia del sistema, para DVB-S2.

Inferiores modulaciones y codificaciones podrá establecerse, asumiendo mayores errores en la transmisión de la información.

5.3.4. Cálculo de la eficiencia del sistema DVB-RCS2

Para llegar a la eficiencia espectral se tomara la situación de cielo despejado, en el tramo Mategua, Amachuma para las frecuencias 28,664 GHz y 18,740 GHz, respectivamente.

5.3.4.1. Cálculo C/N total ascendente.

Datos:

$$C/I=15,5 \text{ (dB)}$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{TVSATUP} \text{ (dB)} = \frac{\left(\frac{C}{N}\right)_{VSATUP} \times \left(\frac{C}{I}\right)_{lm}}{\left(\frac{C}{N}\right)_{VSATUP} + \left(\frac{C}{I}\right)_{lm}}$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{TVSATUP} \text{ (dB)} = \frac{43,1252 \text{ (dB)} \times 15,5 \text{ (dB)}}{43,1252 \text{ (dB)} + 15,5 \text{ (dB)}}$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{TVSATUP} \text{ (dB)} = 11,4019 \text{ (dB)}$$

5.3.4.2. Cálculo C/N total descendente.

Datos:

$$C/I=30,5 \text{ (dB)}$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{TETDW} (dB) = \frac{\left(\frac{C}{N}\right)_{ETDW} \times \left(\frac{C}{T}\right)_{lm}}{\left(\frac{C}{N}\right)_{ETDW} + \left(\frac{C}{T}\right)_{lm}}$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{TETDW} (dB) = \frac{29,8647(dB) \times 30,5(dB)}{29,8647(dB) + 30,5(dB)}$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{TETDW} (dB) = 15,0895(dB)$$

Con los datos numéricos ascendentes y descendentes, calculamos C/N del sistema para obtener el Eb/No para el DVB-RCS2.

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{SI} (dB) = 10 \log \left(\frac{1}{\frac{1}{10^{\left(\frac{C}{N}\right)_{TVSATUP}}} + \frac{1}{10^{\left(\frac{C}{N}\right)_{TETDW}}}} \right) (dB)$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{SI} (dB) = 10 \log \left(\frac{1}{\frac{1}{10^{1,14019}} + \frac{1}{10^{1,50895}}} \right) (dB)$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{SI} (dB) = 9,8552(dB)$$

5.3.4.3. Relación de la densidad de energía de bit a densidad de ruido.

Datos:

Lm = 2 índice de modulación

FEC = 1/2 Forw Error Correction

Rolloff = 0,2 porcentaje de modulación

Modulación QPSK

$$\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_{SI} = \left(\frac{C}{N}\right)_{SI} (dB) - 10\log\left(\frac{Lm.FEC}{1 + Rolloff}\right)$$

$$\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_{SI} = 9,8552(dB) - 10\log\left(\frac{2x1/3}{1 + 0,2}\right)$$

$$\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_{SI} = 12,4079(dB)$$

El cuadro 18, demuestra los resultados de todos los modos de modulación de acuerdo a las recomendaciones ETSI EN 302 307 V1.2.1 (2009-08) del cuadro 14, para un enlace casi libre de errores, donde se debe cumplir un valor de Eb/No requerido.

DETALLE	MATEGUA – AMACHUMA PARA DVB-RCS2			
	28,664 GHz y 18,740 GHz			
MODULACION	FEC	INDICE	(C/N) CALCULADO	Eb/No REQUERIDO
QPSK	1/3	2	9,8552	12,4079
QPSK	1/2	2	9,8552	9,0634
QPSK	2/3	3	9,8552	7,6367
QPSK	3/4	3	9,8552	7,1252
QPSK	2/3	4	9,8552	6,3873

Cuadro 18: Requerimiento de Eb/No en base a C/N del sistema

Fuente: Elaboración propia

El valor de Eb/No = 6,3873 resaltado en cuadro verde, se acerca más al valor requerido por recomendación ETSI EN 302 307 V1.2.1 (2009-08), del cuadro 14, que corresponde a modulación QPSK con FEC=2/3, que deberá ser utilizada para transmisión en cielo despejado como máxima eficiencia del sistema, para DVB-RCS2, que coincide con relación a la probabilidad de error (vea anexo “Mike”)

A continuación mostramos los cuadros DVB-S2 y DVB-RCS2 calculados para las diferentes localidades a diferentes frecuencias.

DETALLE	AMACHUMA – MATEGUA PARA DVB-S2			
	28,160 GHz y 19,0495 GHz			
MODULACION	FEC	INDICE	(C/N) CALCULADO	Eb/No REQUERIDO
QPSK	1/2	2	10,6087	11,4005
QPSK	3/5	2	10,6087	10,6087
QPSK	2/3	2	10,6087	10,1511
QPSK	3/	2	10,6087	9,6396
QPSK	4/5	2	10,6087	9,3593
QPSK	5/6	2	10,6087	9,1820
QPSK	8/9	2	10,6087	8,9017
QPSK	9/10	2	10,6087	8,8478
8QPSK	3/5	3	10,6087	8,8478
8QPSK	2/3	3	10,6087	8,3902
8QPSK	3/4	3	10,6087	7,8787
8QPSK	5/6	3	10,6087	7,4211
8QPSK	8/9	3	10,6087	7,1408
8QPSK	9/10	3	10,6087	7,0869
16APSK	2/3	4	10,6087	7,1408
16APSK	3/4	4	10,6087	6,6293
16APSK	4/5	4	10,6087	6,3490
16APSK	5/6	4	10,6087	6,1717
16APSK	8/9	4	10,6087	5,8914
16APSK	9/10	4	10,6087	5,8375
32APSK	3/4	5	10,6087	5,6602
32APSK	4/5	5	10,6087	5,3799
32APSK	5/6	5	10,6087	5,2026
32APSK	8/9	5	10,6087	4,9223
32APSK	9/10	5	10,6087	4,8684

DETALLE	MATEGUA – AMACHUMA PARA DVB-RCS2			
	28,532 GHz y 18,608 GHz			
MODULACION	FEC	INDICE	(C/N) CALCULADO	Eb/No REQUERIDO
QPSK	1/3	2	9,8168	12,3695
QPSK	1/2	2	9,8168	9,0250
QPSK	2/3	3	9,8168	7,5983
QPSK	3/4	3	9,8168	7,0868
QPSK	2/3	4	9,8168	6,3489

Cuadro 19: Requerimiento de Eb/No en base a C/N del sistema

DETALLE	AMACHUMA – BELLA FLOR PARA DVB-S2			
	28,292 GHz y 19,1815 GHz			
MODULACION	FEC	INDICE	(C/N) CALCULADO	Eb/No REQUERIDO
QPSK	1/2	2	10,6149	11,4067
QPSK	3/5	2	10,6149	10,6149
QPSK	2/3	2	10,6149	10,1573
QPSK	3/4	2	10,6149	9,6458
QPSK	4/5	2	10,6149	9,3655
QPSK	5/6	2	10,6149	9,1882
QPSK	8/9	2	10,6149	8,9079
QPSK	9/10	2	10,6149	8,8540
8QPSK	3/5	3	10,6149	8,8540
8QPSK	2/3	3	10,6149	8,3964
8QPSK	3/4	3	10,6149	7,8849
8QPSK	5/6	3	10,6149	7,4273
8QPSK	8/9	3	10,6149	7,1470
8QPSK	9/10	3	10,6149	7,0931
16APSK	2/3	4	10,6149	7,1470
16APSK	3/4	4	10,6149	6,6355
16APSK	4/5	4	10,6149	6,3552
16APSK	5/6	4	10,6149	6,1779
16APSK	8/9	4	10,6149	5,8976
16APSK	9/10	4	10,6149	5,8437
32APSK	3/4	5	10,6149	5,6664
32APSK	4/5	5	10,6149	5,3861
32APSK	5/6	5	10,6149	5,2088
32APSK	8/9	5	10,6149	4,9285
32APSK	9/10	5	10,6149	4,8746

DETALLE	BELLA FLOR – AMACHUMA PARA DVB-RCS2			
	28,664 GHz y 18,740 GHz			
MODULACION	FEC	INDICE	(C/N) CALCULADO	Eb/No REQUERIDO
QPSK	1/3	2	9,8619	12,4146
QPSK	1/2	2	9,8619	9,0701
QPSK	2/3	3	9,8619	7,6434
QPSK	3/4	3	9,8619	7,1319
QPSK	2/3	4	9,8619	6,3940

Cuadro 20: Requerimiento de Eb/No en base a C/N del sistema

DETALLE	AMACHUMA – BELLA FLOR PARA DVB-S2			
	28,160 GHz y 19,0495 GHz			
MODULACION	FEC	INDICE	(C/N) CALCULADO	Eb/No REQUERIDO
QPSK	1/2	2	10,6123	11,4041
QPSK	3/5	2	10,6123	10,6123
QPSK	2/3	2	10,6123	10,1547
QPSK	3/4	2	10,6123	9,6432
QPSK	4/5	2	10,6123	9,3629
QPSK	5/6	2	10,6123	9,1856
QPSK	8/9	2	10,6123	8,9053
QPSK	9/10	2	10,6123	8,8514
8QPSK	3/5	3	10,6123	8,8514
8QPSK	2/3	3	10,6123	8,3938
8QPSK	3/4	3	10,6123	7,8823
8QPSK	5/6	3	10,6123	7,4247
8QPSK	8/9	3	10,6123	7,1444
8QPSK	9/10	3	10,6123	7,0905
16APSK	2/3	4	10,6123	7,1444
16APSK	3/4	4	10,6123	6,6329
16APSK	4/5	4	10,6123	6,3526
16APSK	5/6	4	10,6123	6,1753
16APSK	8/9	4	10,6123	5,8950
16APSK	9/10	4	10,6123	5,8411
32APSK	3/4	5	10,6123	5,6638
32APSK	4/5	5	10,6123	5,3835
32APSK	5/6	5	10,6123	5,2062
32APSK	8/9	5	10,6123	4,9259
32APSK	9/10	5	10,6123	4,8720

DETALLE	BELLA FLOR – AMACHUMA PARA DVB-RCS2			
	28,532 GHz y 18,608 GHz			
MODULACION	FEC	INDICE	(C/N) CALCULADO	Eb/No REQUERIDO
QPSK	1/3	2	9,8233	12,3760
QPSK	1/2	2	9,8233	9,0315
QPSK	2/3	3	9,8233	7,6048
QPSK	3/4	3	9,8233	7,0933
QPSK	2/3	4	9,8233	6,3554

Cuadro 21: Requerimiento de Eb/No en base a C/N del sistema

DETALLE	AMACHUMA – SEPULTURAS PARA DVB-S2			
	28,292 GHz y 19,1815 GHz			
MODULACION	FEC	INDICE	(C/N) CALCULADO	Eb/No REQUERIDO
QPSK	1/2	2	10,6257	11,4175
QPSK	3/5	2	10,6257	10,6257
QPSK	2/3	2	10,6257	10,1681
QPSK	3/4	2	10,6257	9,6566
QPSK	4/5	2	10,6257	9,3763
QPSK	5/6	2	10,6257	9,1990
QPSK	8/9	2	10,6257	8,9187
QPSK	9/10	2	10,6257	8,8648
8QPSK	3/5	3	10,6257	8,8648
8QPSK	2/3	3	10,6257	8,4072
8QPSK	3/4	3	10,6257	7,8957
8QPSK	5/6	3	10,6257	7,4381
8QPSK	8/9	3	10,6257	7,1578
8QPSK	9/10	3	10,6257	7,1039
16APSK	2/3	4	10,6257	7,1578
16APSK	3/4	4	10,6257	6,6463
16APSK	4/5	4	10,6257	6,3660
16APSK	5/6	4	10,6257	6,1887
16APSK	8/9	4	10,6257	5,9084
16APSK	9/10	4	10,6257	5,8545
32APSK	3/4	5	10,6257	5,6772
32APSK	4/5	5	10,6257	5,3969
32APSK	5/6	5	10,6257	5,2196
32APSK	8/9	5	10,6257	4,9393
32APSK	9/10	5	10,6257	4,8854

DETALLE	SEPULTURAS – AMACHUMA PARA DVB-RCS2			
	28,664 GHz y 18,740 GHz			
MODULACION	FEC	INDICE	(C/N) CALCULADO	Eb/No REQUERIDO
QPSK	1/3	2	9,8813	12,4340
QPSK	1/2	2	9,8813	9,0895
QPSK	2/3	3	9,8813	7,6628
QPSK	3/4	3	9,8813	7,1513
QPSK	2/3	4	9,8813	6,4134

Cuadro 22: Requerimiento de Eb/No en base a C/N del sistema

DETALLE	AMACHUMA – SEPULTURAS PARA DVB-S2			
	28,160 GHz y 19,0495 GHz			
MODULACION	FEC	INDICE	(C/N) CALCULADO	Eb/No REQUERIDO
QPSK	1/2	2	10,623	11,4148
QPSK	3/5	2	10,623	10,6230
QPSK	2/3	2	10,623	10,1654
QPSK	3/4	2	10,623	9,6539
QPSK	4/5	2	10,623	9,3736
QPSK	5/6	2	10,623	9,1963
QPSK	8/9	2	10,623	8,9160
QPSK	9/10	2	10,623	8,8621
8QPSK	3/5	3	10,623	8,8621
8QPSK	2/3	3	10,623	8,4045
8QPSK	3/4	3	10,623	7,8930
8QPSK	5/6	3	10,623	7,4354
8QPSK	8/9	3	10,623	7,1551
8QPSK	9/10	3	10,623	7,1012
16APSK	2/3	4	10,623	7,1551
16APSK	3/4	4	10,623	6,6436
16APSK	4/5	4	10,623	6,3633
16APSK	5/6	4	10,623	6,1860
16APSK	8/9	4	10,623	5,9057
16APSK	9/10	4	10,623	5,8518
32APSK	3/4	5	10,623	5,6745
32APSK	4/5	5	10,623	5,3942
32APSK	5/6	5	10,623	5,2169
32APSK	8/9	5	10,623	4,9366
32APSK	9/10	5	10,623	4,8827

DETALLE	SEPULTURAS – AMACHUMA PARA DVB-RCS2			
	28,532 GHz y 18,608 GHz			
MODULACION	FEC	INDICE	(C/N) CALCULADO	Eb/No REQUERIDO
QPSK	1/3	2	9,8426	12,3953
QPSK	1/2	2	9,8426	9,0508
QPSK	2/3	3	9,8426	7,6241
QPSK	3/4	3	9,8426	7,1126
QPSK	2/3	4	9,8426	6,3747

Cuadro 23: Requerimiento de Eb/No en base a C/N del sistema

DETALLE	AMACHUMA – GUADALUPE PARA DVB-S2			
	28,292 GHz y 19,1815 GHz			
MODULACION	FEC	INDICE	(C/N) CALCULADO	Eb/No REQUERIDO
QPSK	1/2	2	10,7088	11,5006
QPSK	3/5	2	10,7088	10,7088
QPSK	2/3	2	10,7088	10,2512
QPSK	3/4	2	10,7088	9,7397
QPSK	4/5	2	10,7088	9,4594
QPSK	5/6	2	10,7088	9,2821
QPSK	8/9	2	10,7088	9,0018
QPSK	9/10	2	10,7088	8,9479
8QPSK	3/5	3	10,7088	8,9479
8QPSK	2/3	3	10,7088	8,4903
8QPSK	3/4	3	10,7088	7,9788
8QPSK	5/6	3	10,7088	7,5212
8QPSK	8/9	3	10,7088	7,2409
8QPSK	9/10	3	10,7088	7,1870
16APSK	2/3	4	10,7088	7,2409
16APSK	3/4	4	10,7088	6,7294
16APSK	4/5	4	10,7088	6,4491
16APSK	5/6	4	10,7088	6,2718
16APSK	8/9	4	10,7088	5,9915
16APSK	9/10	4	10,7088	5,9376
32APSK	3/4	5	10,7088	5,7603
32APSK	4/5	5	10,7088	5,4800
32APSK	5/6	5	10,7088	5,3027
32APSK	8/9	5	10,7088	5,0224
32APSK	9/10	5	10,7088	4,9685

DETALLE	GUADALUPE – AMACHUMA PARA DVB-RCS2			
	28,664 GHz y 18,740 GHz			
MODULACION	FEC	INDICE	(C/N) CALCULADO	Eb/No REQUERIDO
QPSK	1/3	2	9,8755	12,4282
QPSK	1/2	2	9,8755	9,0837
QPSK	2/3	3	9,8755	7,6570
QPSK	3/4	3	9,8755	7,1455
QPSK	2/3	4	9,8755	6,4076

Cuadro 24: Requerimiento de Eb/No en base a C/N del sistema

DETALLE	AMACHUMA – GUADALUPE PARA DVB-S2			
	28,160 GHz y 19,0495 GHz			
MODULACION	FEC	INDICE	(C/N) CALCULADO	Eb/No REQUERIDO
QPSK	1/2	2	10,619	11,4108
QPSK	3/5	2	10,619	10,6190
QPSK	2/3	2	10,619	10,1614
QPSK	3/4	2	10,619	9,6499
QPSK	4/5	2	10,619	9,3696
QPSK	5/6	2	10,619	9,1923
QPSK	8/9	2	10,619	8,9120
QPSK	9/10	2	10,619	8,8581
8QPSK	3/5	3	10,619	8,8581
8QPSK	2/3	3	10,619	8,4005
8QPSK	3/4	3	10,619	7,8890
8QPSK	5/6	3	10,619	7,4314
8QPSK	8/9	3	10,619	7,1511
8QPSK	9/10	3	10,619	7,0972
16APSK	2/3	4	10,619	7,1511
16APSK	3/4	4	10,619	6,6396
16APSK	4/5	4	10,619	6,3593
16APSK	5/6	4	10,619	6,1820
16APSK	8/9	4	10,619	5,9017
16APSK	9/10	4	10,619	5,8478
32APSK	3/4	5	10,619	5,6705
32APSK	4/5	5	10,619	5,3902
32APSK	5/6	5	10,619	5,2129
32APSK	8/9	5	10,619	4,9326
32APSK	9/10	5	10,619	4,8787

DETALLE	GUADALUPE – AMACHUMA PARA DVB-RCS2			
	28,532 GHz y 18,608 GHz			
MODULACION	FEC	INDICE	(C/N) CALCULADO	Eb/No REQUERIDO
QPSK	1/3	2	9,8368	12,3895
QPSK	1/2	2	9,8368	9,0450
QPSK	2/3	3	9,8368	7,6183
QPSK	3/4	3	9,8368	7,1068
QPSK	2/3	4	9,8368	6,3689

Cuadro 25: Requerimiento de Eb/No en base a C/N del sistema

Los cuadros demuestran el límite de modulación y codificación a cada estación que el GATE WAY puede transmitir en formato DVB-S2, en el retorno DVB-RCS2, existe confiabilidad en la transmisión y recepción de las VSATs, con antenas de diámetro 0,76m, verificados in situ (vea Anexo “NOVEMBER”), garantizando un enlace con un margen apropiado previniendo atenuaciones por causas externas climáticas.

5.4. PARÁMETROS A CONSIDERAR PARA DETERMINAR CAPACIDAD Y NUMERO DE VSAT EN BANDA Ka DEL TKSAT-1

5.4.1. Velocidad de transmisión de la Estación Terrena en cada polarización.

Del plan de frecuencias anterior y de la ecuación (20), podemos deducir que el TKSAT-1, tiene cuatro haces por lo que determinaremos la capacidad total en transmisión en banda Ka.

$$B_{KHz}(KHz) = \frac{V_{kbps}(1+Roll\ off)}{(FEC)(L_m)} K_{EXT}$$

Datos:

Modulación = 32APSK

FEC = 3/4

L_m =Índice de modulación 5

B_{KHz} = 120 MHz Ancho de banda del XPD

Roll Off = 0,2

K=1

Despejando V_{kbps} se tiene

$$V_{kbps}(kbps) = \frac{B_{KHz}(FEC)(L_m)}{(1+Roll\ off)K_{EXT}}$$

$$V_{kbps} = \frac{120000 \left(\frac{3}{4}\right) (5)}{(1 + 0,2)1}$$

$$V_{kbps} = 375000kbps$$

Capacidad total de transmisión en banda Ka

$$V_{total} = 375000kbps \times 4$$

$$V_{kbps} = 1500000kbps = 1,5Gbps \text{ Capacidad máxima de transmisión}$$

5.4.2. Capacidad numérica de VSAT para atender en banda Ka.

Para atender los enlaces definimos anteriormente 2,048Mbps para el downlink y 1,024Mbps para el uplink de cada Vsat, velocidades que permiten un regular tráfico de la información tomando en cuenta la contención de cada VSAT.

$$B_{KHz}(KHz) = \frac{V_{kbps}(1 + Roll\ off)}{(FEC)(L_m)} K_{EXT}$$

Datos:

Modulación = QPSK

FEC = 5/6

$L_m = 2$ Índice de modulación

$V_{kbps} = 2048 \text{ kbps}$ Velocidad de descarga para cada Vsat

Roll Off = 0,2

K=1

$$B_{KHz} = \frac{2048 \text{ kbps}(1 + 0,2)}{\left(\frac{5}{6}\right)(2)} 1$$

$$B_{KHz} = 1474,56KHz$$

Ahora calculamos enlaces máximos de cada transponder en una polarización considerando y sumando la guarda banda del 10%.

$$Nro_{enlacesXPD} = \frac{B_{TOTALMHz}}{B_{VsatMHz}}$$

$$Nro_{enlacesXPD} = \frac{120MHz}{1,622MHz}$$

$$Nro_{enlacesXPD} = 73,98 \approx 73$$

Estaríamos hablando de 2920 Vsat para toda la banda Ka, si la contención se asigna 10:1, esta contención puede variar en operación de acuerdo a requerimiento.

La velocidad para cada enlace del total de los 4 XPD, será:

$$V_{enlace}(Mbps) = \frac{1500Mbps}{292enlaces}$$

$$V_{enlace} = 5,136Mbps \text{ Velocidad de descarga en internet satelital por enlace.}$$

La contención a cada enlace será definido en función de la velocidad solicitada para cada VSAT.

5.5. REDUCCION DEL COSTO ECONÓMICO UTILIZANDO SERVICIOS Y EQUIPOS EN BANDA Ka.

El costo del servicio de internet satelital a velocidades de banda base, se reduce considerablemente para los usuarios a nivel internacional lo mismo ocurre en Bolivia, gracias el lanzamiento del TKSAT-1 con su transponder en banda Ka, los equipos por su reducido tamaño no requiere infraestructura exigente por lo que su precio varía entre 500 a 2000 \$us, pero la ABE, a través de SUBE, empresa que ofrece los servicios de internet

en la banda Ka, facilita u otorga en concesión los equipos concernientes a las VSAT, siendo más accesible para el usuario.

La instalación está alrededor de 300 \$us en área urbana y 600 \$us área rural considerando 200 Km de viaje, para la instalación no se requiere infraestructura considerable tanto para el ODU como para el IDU; a continuación se presenta un cuadro de costos comparativos con la banda Ku, extraídos de las diferentes empresas con presencia global que utilizan diferentes satélites de Telecomunicaciones para prestar servicio de internet satelital, utilizando las últimas tecnologías de procesamiento en la banda Ka.

PAIS	EMPRESA	COSTO POR Mbps EN BANDA Ku (USD)	COSTO POR Mbps EN BANDA Ka (USD)	OBSERVACIONES
EE. UU.	Viasat	250	2,5	Diferente Satélite
	HughesNet	235	2,59	
EUROPA	Eurona	236	1,02	
	Viasat	199	1,12	Diferente Satélite
BRASIL	Viasat	245	8,75	Diferente Satélite
CHILE	Movistar	247	22,85	
BOLIVIA	SUBE	291	4,28	
	Costo equipo	2500	Concesión	Se cobra instalación de acuerdo a la distancia de las ciudades capitales

Cuadro 26: Cuadro comparativo de costos servicio de internet satelital
Fuente: Elaboración propia

Del cuadro podemos observar que en la región de Sudamérica el costo más bajo de internet por Mbps, es en Bolivia, así como el costo de equipos sin cargo al usuario final, asumiendo solamente el costo económico de instalación que varía de acuerdo a la distancia de las ciudades capitales.

CAPITULO SEXTO

EVALUACION DE LA PROPUESTA

6.1. CONSIDERACIONES GENERALES

“El Principio Militar Fundamental”¹² tiene que ver con la evaluación de Aptitud, Factibilidad y Aceptabilidad conocido como (AFA) de cada Modo de Acción en el planeamiento naval operativo Modo de Acción Concebido (MAC), Modo de Acción Tentativo (MAT) y Modo de Acción Retenido (MAR). Al respecto el Modo de Acción debe ser Apto para lograr el Efecto Inmediato, el efecto Deseado, el efecto Ulterior. Esto es en lugar de un único MAT, logro el Efecto Inmediato, el Deseado y el Ulterior a través de un encadenamiento sucesivo de acciones, por lo cual el MAT pasa a convertirse en MAR.

El modo de acción debe ser Apto para lograr el efecto deseado. Debe ser Factible, dadas las condiciones de los recursos aislados en el entorno en el que se opera. Y debe ser Aceptable en el sentido de la relación costo-beneficio de asignar esos recursos, en ese entorno para lograr el efecto deseado. La factibilidad se refiere a la disponibilidad de los recursos necesarios para llevar a cabo los objetivos o metas señalados.

En el campo de la metodología de la investigación, se puede aplicar también este tipo de evaluación de la hipótesis, frente al objetivo general, en función de la solución del problema de investigación.

En los cuadros siguientes presenta la matriz de evaluación del AFA, para determinar la factibilidad del trabajo propuesto.

¹² ALEF – Análisis Lógico Estratégico Fundamental, por Alberto Levy | 08 de Abril de 2012 Estrategia.

6.2. APLICACIÓN DE LA PRUEBA DE APTITUD, FACTIBILIDAD Y ACEPTABILIDAD (AFA).

6.2.1. Aptitud

La aptitud, es el requisito que se atribuye a partir de comparar la relación que existe entre la solución propuesta y el objetivo a lograr. En este caso de la elaboración de una tesis, este requisito se verificará a partir de analizar el objetivo general como propuesta y a la luz de los objetivos de la investigación planteados.

Para evaluar la aptitud de la solución propuesta en el Capítulo Quinto, se inicia con la evaluación inicial de aptitud. Las variables en las que se refiere para este análisis son **naturaleza, integridad y oportunidad**.

PROPUESTA OBJETIVO GENERAL	ANÁLISIS DE APTITUD		
	Naturaleza	Integridad	Oportunidad
Realizar el dimensionamiento de las Vsat para el uso del transponder en banda Ka del Satélite Túpac Katari, en beneficio de los usuarios.	<p>✓</p> <p>CUMPLE</p> <p>Es natural la necesidad de actualizarse</p>	<p>✓</p> <p>CUMPLE</p> <p>El primer al cuarto objetivo integra prácticamente el objetivo general</p>	<p>✓</p> <p>CUMPLE</p> <p>El tiempo y las necesidades hacen oportuna su aplicación</p>

Cuadro 27: Análisis de aptitud

6.2.2. Factibilidad

La cualidad que tiene la propuesta a la solución vinculada a sus perspectivas de éxito, su facilidad de ejecución y su adecuado aprovechamiento o explotación. Existe una realidad costumbrista que no se ha tomado en cuenta, y que resulta necesario analizar para evaluar las posibilidades de responsabilidad que surjan de la propuesta planteada en

el Capítulo Quinto. Para determinar la factibilidad convendría dar respuesta a los siguientes interrogantes:

¿Existe una razonable probabilidad de éxito en su aplicación en las telecomunicaciones satelitales en banda Ka del TKSAT-1?

¿En qué medida esta solución o proposición es practicable teniendo en cuenta las dificultades a vencer?

¿Existe alguna dificultad en su aplicación?

PROPUESTA OBJETIVO GENERAL	ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD		
	Probabilidad de éxito	Practicabilidad	Capacidad de Dificultad
Realizar el dimensionamiento de las Vsat para el uso del transponder en banda Ka del Satélite Túpac Katari, en beneficio de los usuarios.	<p>✓</p> <p>CUMPLE</p> <p>Cualquier factor que aporte en la eficiencia del uso de la banda Ka del TKSAT-1 tiene probabilidad de éxito.</p>	<p>✓</p> <p>CUMPLE</p> <p>Su aplicabilidad es un hecho por la necesidad del uso de la banda Ka para recuperar costos de inversión.</p>	<p>✓</p> <p>CUMPLE</p> <p>Inicialmente es la costumbre del uso, luego con la capacitación y normas no existiría dificultad</p>

Cuadro 28: Análisis de factibilidad

6.2.3. Aceptabilidad

El análisis de aceptabilidad se determina ponderando la relación costos beneficios. Los costos iniciales que se realizaran, tendrán su efecto en los beneficios de eficiencia de operación, calidad del servicio y facilidad de navegación en internet comparándose con los prestados en ciudades con ADSL y a los mismos precios, cerrando más aun la brecha digital en las provincias.

PROPUESTA OBJETIVO GENERAL	ANALISIS DE ACEPTABILIDAD		
	Capacidad posterior	Justificación de gastos	Magnitud de aceptación
Realizar el dimensionamiento de las Vsat para el uso del transponder en banda Ka del Satélite Túpac Katari, en beneficio de los usuarios.	<p style="text-align: center;">✓</p> <p style="text-align: center;">CUMPLE</p> <p>EL beneficio es más que el económico, se abre una puerta de comunicación al mundo donde pueden interrelacionar de forma cultural, educación y sobre todo comercial.</p>	<p style="text-align: center;">✓</p> <p style="text-align: center;">CUMPLE</p> <p>Los gastos son mínimos, pero los beneficios superan ampliamente los gastos, ya que el intercambio comercial a través del internet genera ingresos, los beneficios en educación para el usuario son incalculables.</p>	<p style="text-align: center;">✓</p> <p style="text-align: center;">CUMPLE</p> <p>Es necesaria su implementación para mejorar el servicio de calidad en internet, a exigencia de las mismas comunidades aisladas por la topología de nuestro territorio.</p>

Cuadro 29: Análisis de aceptabilidad

6.3. CONCLUSION DE LA EVALUACION DE LA PROPUESTA.

Las proposiciones planteadas resultan APTAS por naturaleza y oportunidad, en cuanto a su integridad, se complementan para serlo por completo. El análisis de FACTIBILIDAD en relación a las oportunidades para ser eficientes en operaciones ha permitido descubrir que la cultura del procedimiento se halla ausente de los tripulantes de naves mercantes con bandera boliviana. En cuanto a la ACEPTABILIDAD de las proposiciones, debe insistirse en que los beneficios superan ampliamente a sus costos. Como se analizó la propuesta cumple las tres variables de Aptitud, Factibilidad y Aceptación.

CAPITULO SEPTIMO

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES.

La socialización y el marketing sobre ventajas de los transponder de banda Ka del TKSAT-1, incidirá en la venta de servicios a las comunidades aisladas de los centros urbanos, como a las empresas proveedoras de internet que no llegan con cable o MW a nivel nacional.

La publicación de características específicas necesarias para el presupuesto de enlace en banda Ka en la página web de la ABE, contribuirá al mejoramiento del dimensionamiento del uso de la banda Ka del TKSAT-1, por parte de otras empresas que deseen utilizar este servicio para comercializarlo.

Mejorar la calidad y confiabilidad del servicio de internet satelital en banda base para el usuario, permitirá una mayor demanda de los servicios de internet satelital en la banda Ka del TKSAT-1.

Utilizar antenas de menor diámetro en las VSAT, permitirá estabilidad en el servicio de internet y mayor demanda por la infraestructura reducida que se ocupara.

7.2. RECOMENDACIONES.

Me permito recomendar salvo mejor parecer de la ABE, lo siguiente: Configurar con antenas de menor diámetro para el usuario en la banda Ka, modificar el emplazamiento actual de sus VSAT. Finalmente ofrecer servicios de internet satelital en banda Ka. por los limites fronterizos de Bolivia en un lapso de tiempo determinado por grupos de 2 técnicos para demostraciones en sitio, con el fin de vender estos servicios, ya que la vida del satélite es limitada y se debe explotar al máximo la banda Ka.

BIBLIOGRAFIA

1. Libros

CONSTANTINE A. BALANIS, Antenna Teory: Are, Wiley & Sons, inc.

CARLOS ROSADO, Comunicaciones por Satélite: Principios, Tecnología y Sistemas. Limusa-Wiley, 2da. Edición, 2008

GRIMALDI, John y SIMONDS Rolin: “La Seguridad Industrial y su administración”. Editorial Alfa omega. México, 1991.

H.L. KRAUSS. C-W. BOSTIAN Y F H RA/W, Radiocomunicaciones. Limusa. 1384

JOSÉ BRICEÑO MÁRQUEZ, Principios de las Comunicaciones, México, 1998.

MONCADA D., FERMIN JR, Atenuación por lluvia en un sistema de comunicación estaciónsatélite.(2008)Recuperadode:<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2954388.pdf>

SAUL J. ESCALERA, Ph.D. Técnicas de I y D en Ciencia y Tecnología, Cochabamba – Bolivia, mayo 2006

Gustavo Siles y Daniel Chirinos, ESTIMATION OF RAIN INTENSITY FOR RADIO PROPAGATION STUDIES IN BOLIVIA, INVESTIGACIÓN & DESARROLLO, Vol. 18, No. 1: 69 - 79 (2018) ISSN 2518-4431

RAÚL MEJÍA IBÁÑEZ. Metodología de la Investigación Tercera Edición (como realizar y presentar trabajos de investigación) Tesis, Tesinas y Monografías:

PAVEZ MINA, RODRIGO. Órbitas satelitales. (s. f). Ingeniería Civil Electrónica – Universidad Mayor. Recuperado de <https://sites.google.com/site/chichin1985/telecomunicaciones/órbitas-satelitales>.

WAYNE TOMASI, Sistemas de Telecomunicaciones Hall, 2003

2. Decretos

Constitución Política del Estado, Carta Magna, Editorial Colección Liliputiense, Sancionada por el Honorable Congreso Nacional, La Paz Bolivia 13 de Abril del 2004.

3. Internet

Milenio, Diccionario Enciclopédico ilustrado, 2003

http://www.comudadandina.org/salaprensa/jose__ribero.pdf

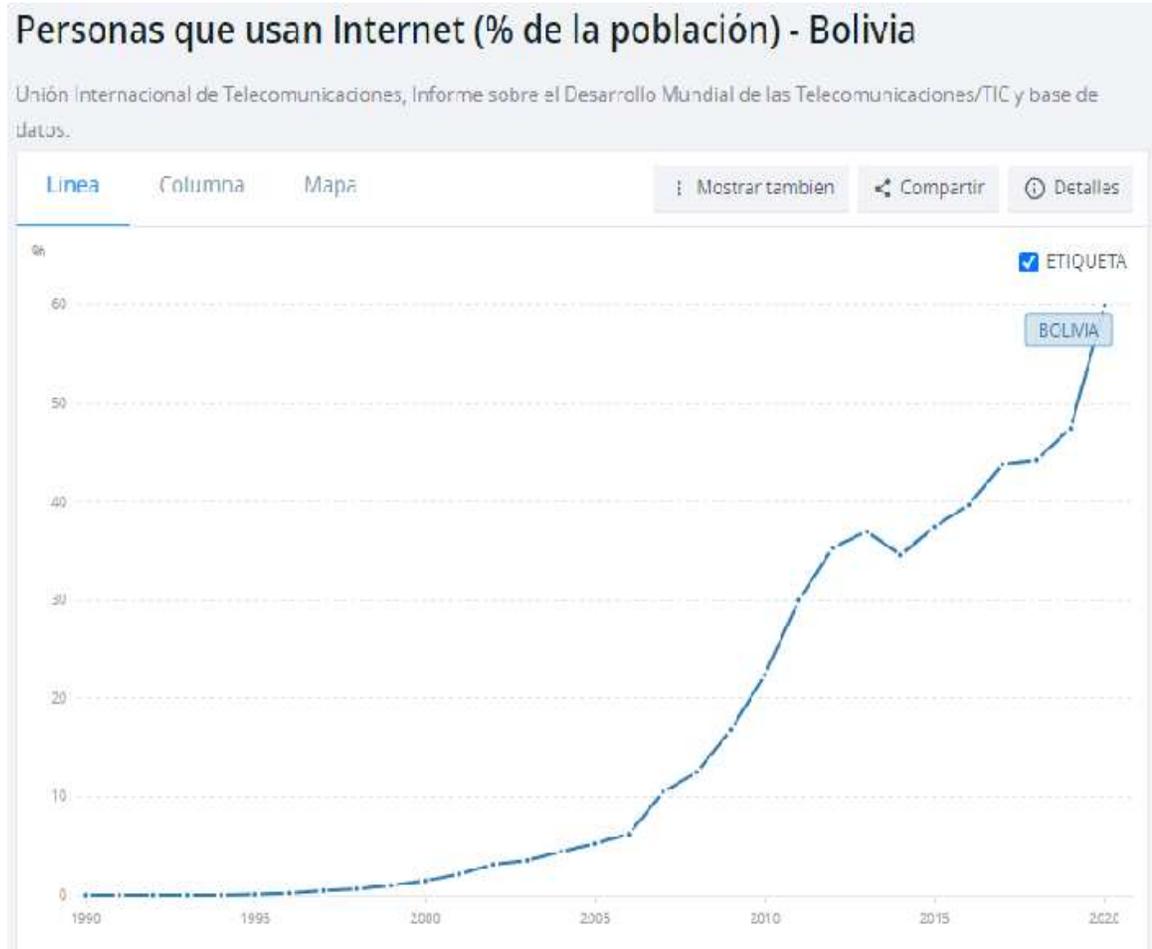
<http://www.Sistema Satelital>, - Telecomunicaciones, - TIC para el Desarrollo, Noviembre, 2005

GLOSARIO DE TERMINOS

Aislante:	Cuerpos no metálicos que ofrecen gran resistencia al paso de la corriente eléctrica, que no dejan que pasen, por ejemplo el vidrio, la porcelana, algunos plásticos, etc.
Comparativo:	Este método es la forma de generar o refutar teorías e hipótesis que utiliza comparaciones basadas en procedimientos análogos a los del método científico.
Descriptivos:	Este tipo de investigación busca desarrollar una imagen o fiel representación (descripción) del fenómeno estudiado a partir de sus características. Describir en este caso es sinónimo de medir.
Deductivo:	Este método consiste en extraer una conclusión con base en una premisa o a una serie de proposiciones que se asumen como verdaderas.
Eficaz:	Que produce el efecto esperado, que va bien para determinada cosa.
Eficiente:	Que realiza o cumple un trabajo o función a la perfección.
Erlang:	Unidad que permite cuantificar la intensidad de tráfico cursado, básicamente es la medida de la utilización de un recurso.
Espectro:	Frecuencias de trabajo en telecomunicaciones reguladas por la UIT.
Exploratorio:	Es un tipo de investigación utilizada para estudiar un problema que no está claramente definido, por lo que se lleva a cabo para comprenderlo mejor, pero sin proporcionar resultados concluyentes.
Frecuencia:	Se dice del número de veces que cambia la corriente de sentido en la corriente alterna.

- Partes activas:** Conductores y piezas conductoras que en condiciones normales están bajo tensión.
- Propositiva:** La investigación es de tipo propositiva por cuanto se fundamenta en una necesidad o vacío dentro de la institución, una vez que se tome la información descrita, se realizará una propuesta de sistema de evaluación del desempeño para superar la problemática actual y las deficiencias encontradas.
- Roll Off:** Define el Ancho de banda de la transmisión y la forma del pulso en el dominio temporal, valores típicos de este factor oscilan entre 0,2 y 0,5.
- Telecomando:** Control a distancia de forma remota.
- Transponder:** Segmento del total del ancho de banda de un satélite en los cuales está dividido toda la banda de frecuencia de trabajo.

Anexo “ALPHA”



Cuadro Estadística uso de Internet en Bolivia Según base de Datos del Banco Mundial.

<https://datos.bancomundial.org/indicador/IT.NET.USER.ZS?end=2020&locations=BO&start=1990&view=chart>

Anexo “BRAVO”

2.1.10 NOMENCLATURA DE LAS BANDAS DE FRECUENCIAS Y LONGITUDES DE ONDA

El espectro radioeléctrico se subdivide en nueve bandas de frecuencias, que se designan por números enteros, en orden creciente, de acuerdo con el siguiente cuadro. Dado que la unidad de frecuencia es el hertzio (Hz), las frecuencias se expresan:

- Kilohertzios (kHz) hasta 3.000 kHz, inclusive;
- Megahertzios (MHz) por encima de 3 MHz hasta 3.000 MHz, inclusive;
- Gigahertzios (GHz) por encima de 3 GHz hasta 3.000 GHz, inclusive.

Sin embargo, siempre que la aplicación de esta disposición plantee graves dificultades, por ejemplo, en la notificación e inscripción de frecuencias, en las listas de frecuencias y en cuestiones conexas, se podrán efectuar cambios razonables (CMR-07)

- kHz para frecuencias de hasta 28.000 kHz inclusive
- MHz para frecuencias superiores a 28.000 kHz y hasta 10.500 MHz inclusive
- GHz para frecuencias superiores a 10.500 MHz.

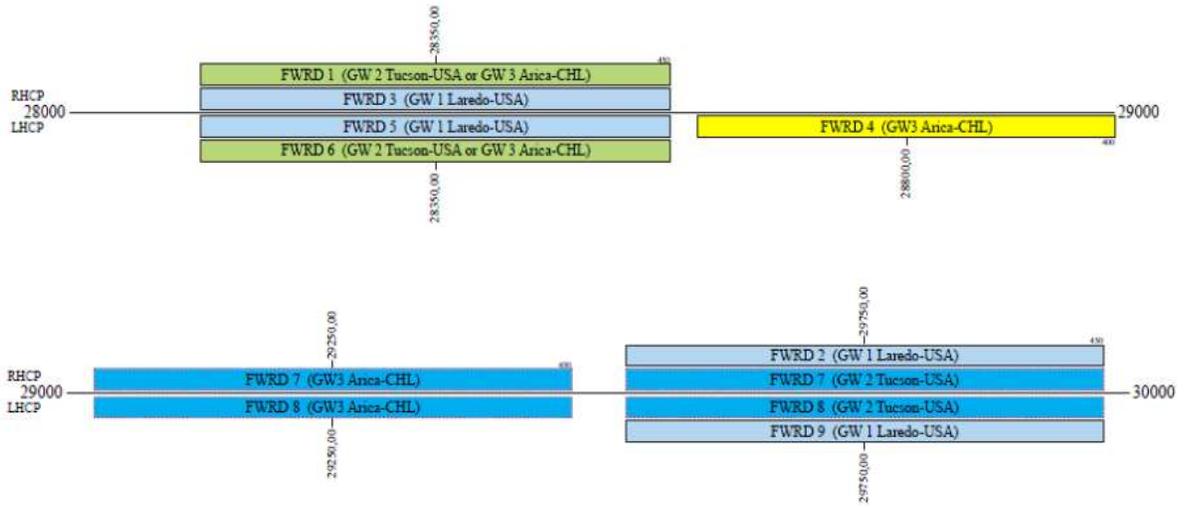
Número de la banda	Símbolos (en inglés)	Gama de frecuencias (excluido el límite inferior, pero incluido el superior)			Subdivisión métrica correspondiente	Abreviaturas métricas para las bandas
4	VLF	3	30	kHz	Ondas miriamétricas	B.Mam
5	LF	30	300	kHz	Ondas kilométricas	B.km
6	MF	300	3.000	kHz	Ondas hectométricas	B.hm
7	HF	3	30	MHz	Ondas decamétricas	B.dam
8	VHF	30	300	MHz	Ondas métricas	B.m
9	UHF	300	3.000	MHz	Ondas decimétricas	B.dm
10	SHF	3	30	GHz	Ondas centimétricas	B.cm
11	EHF	30	300	GHz	Ondas milimétricas	B.mm
12		300	3.000	GHz	Ondas decimilimétricas	B.dmm
13		3	30	THz	Ondas centimilimétricas	B.cmm
14		30	300	THz	Ondas micrométricas	B.µm
15		300	3.000	THz	Ondas decimicrométricas	B.dµm

El Plan Nacional de Frecuencias del Estado Plurinacional de Bolivia tiene como referencia en la banda Ka, la estandarizada a nivel internacional en la banda 10 con los símbolos SHF, que corresponde a las ondas centimétricas.

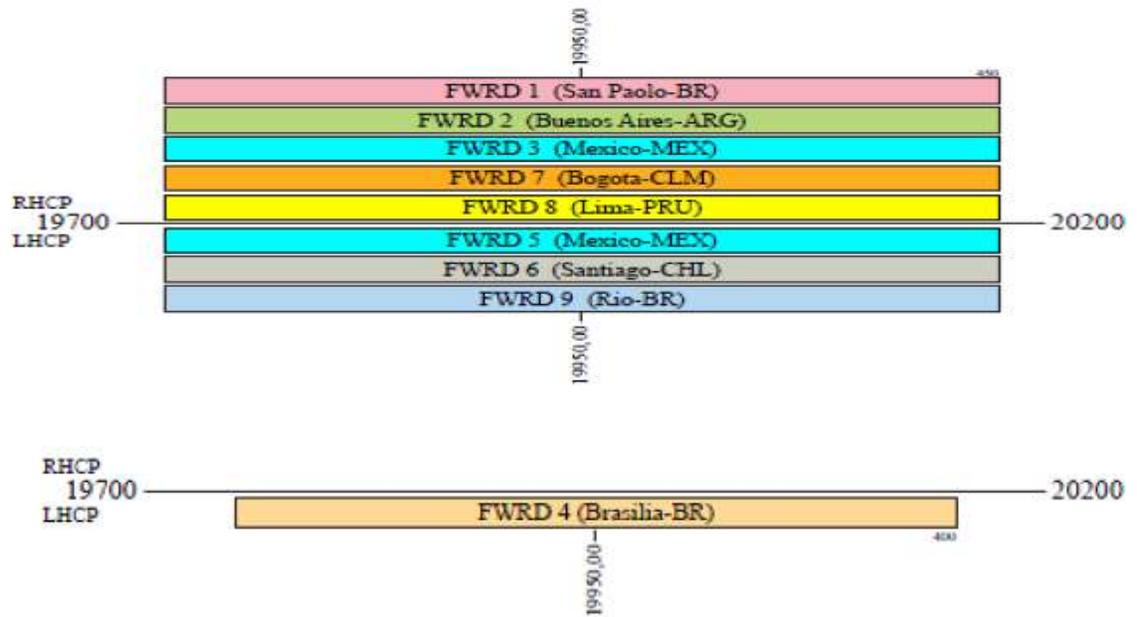
Anexo “CHARLIE”

Uplink

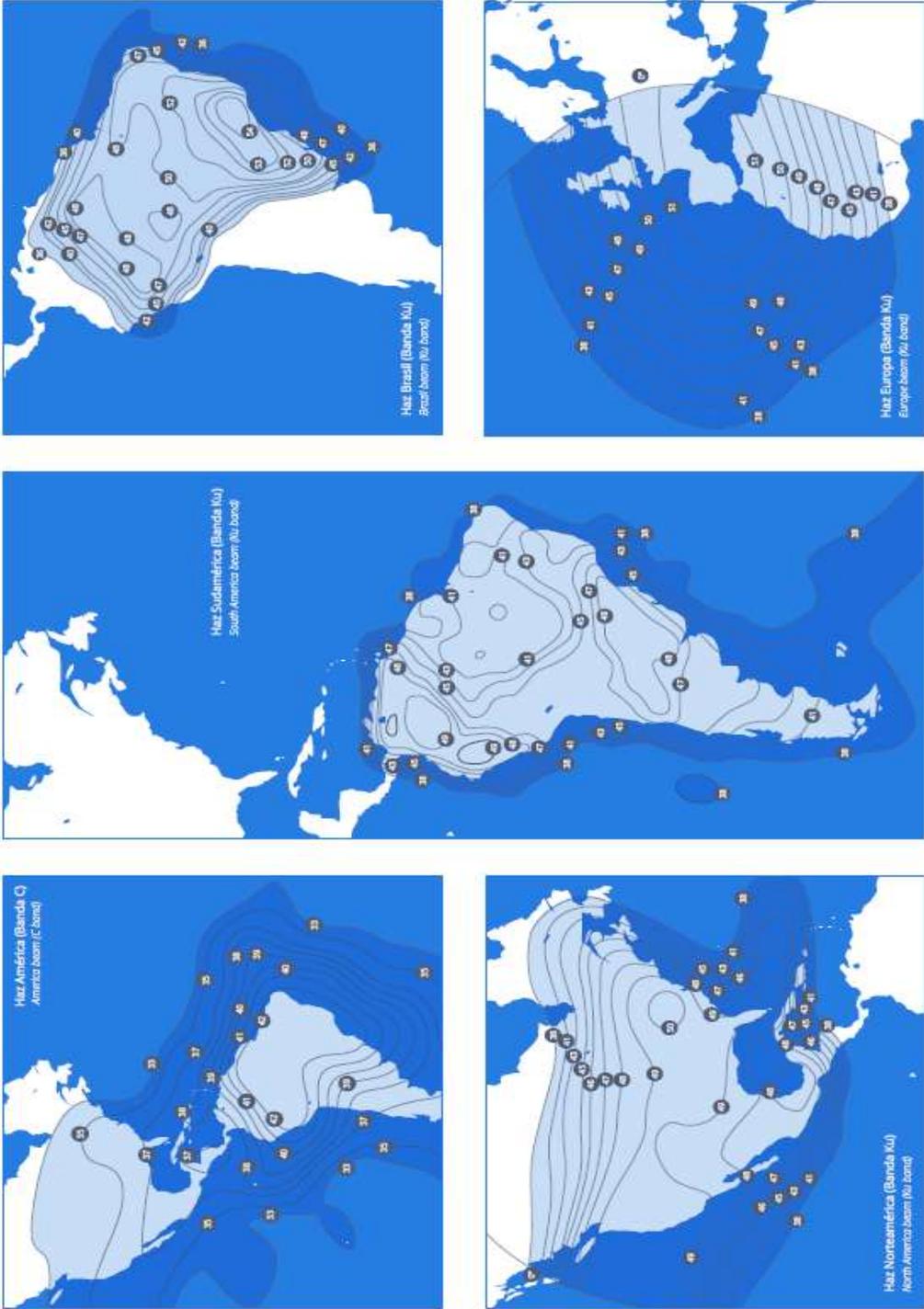
Forward



Downlink

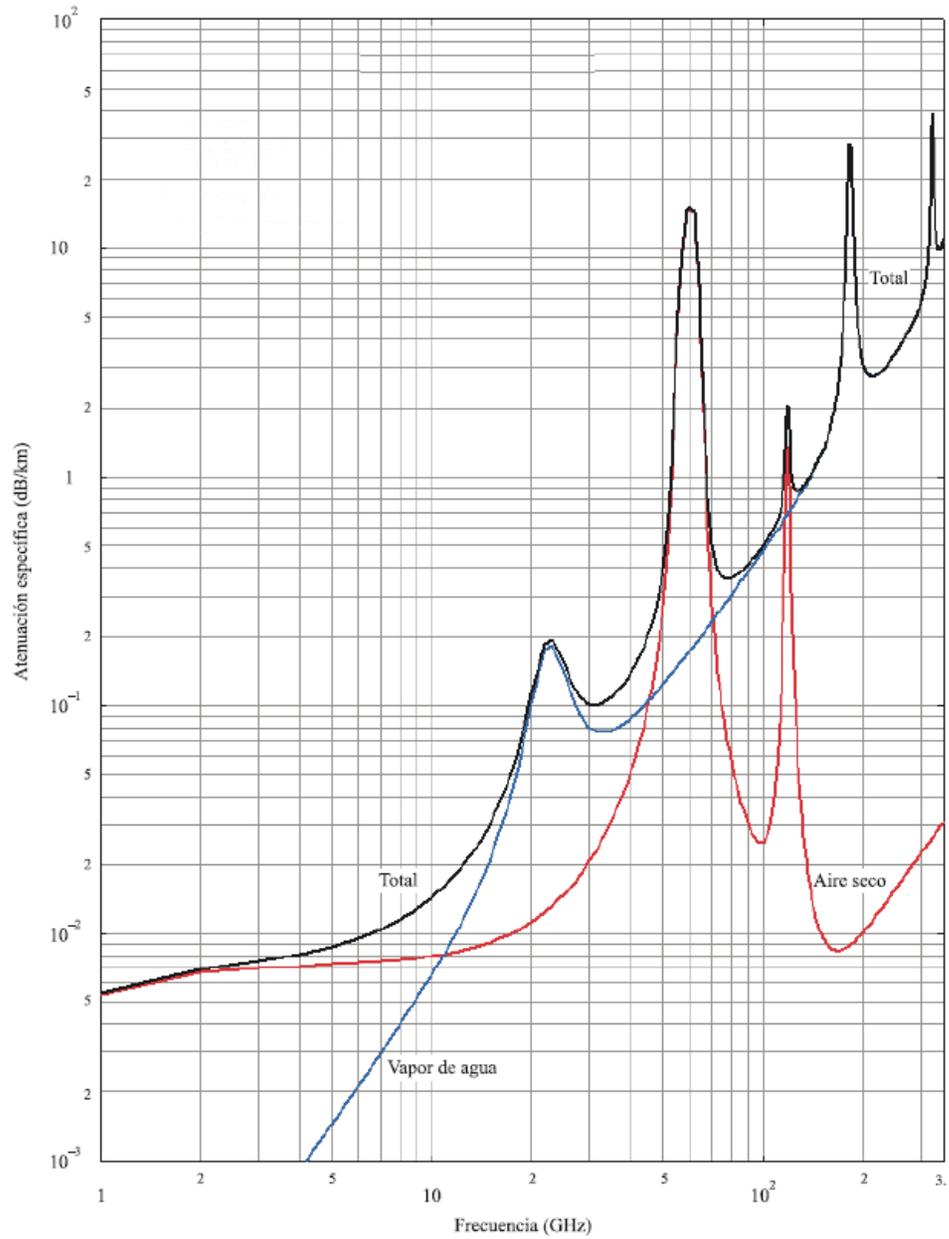


Continua



Área de cobertura del Amazonas 3 de Ispasat

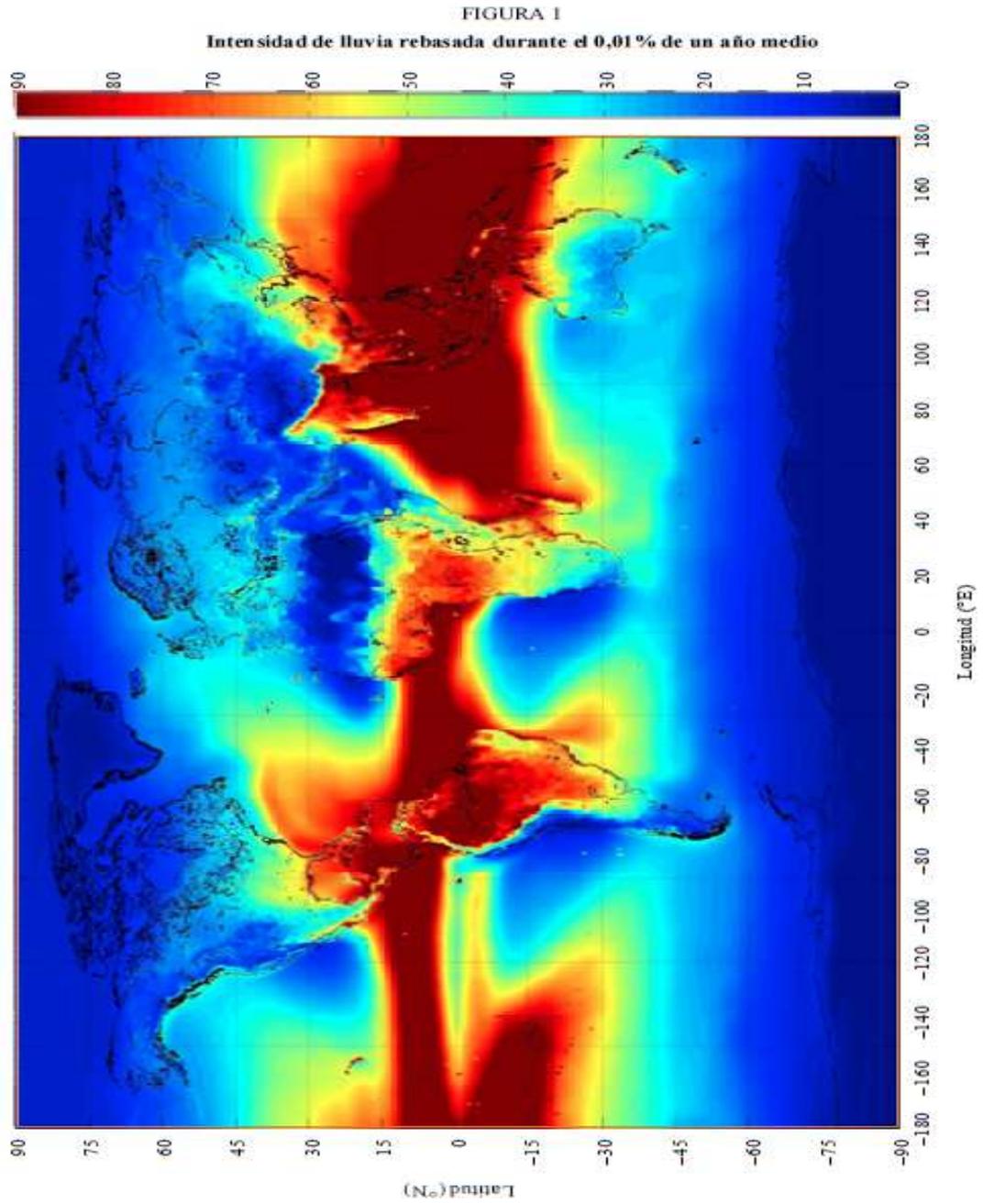
Anexo "DELTA"



Atenuación específica debido a los gases

Anexo "ECHO"

Rec. UIT-R P.837-7



Intensidad de lluvia rebasada durante el 0,01 % de un año medio

Anexo "FOXTROT"

Características técnicas de redes de satélite OSG que utilizan bandas de frecuencias del SFS

1a Banda de frecuencias (GHz)	6/4 (Convencional)					14/12 (Convencional)			30/20					
	OSG 1		OSG 2		OSG 5	OSG 6		OSG 9		OSG 10		OSG 11	OSG 12	OSG 13
1b Sistema														
Número de satélites en la misma ubicación	1													
Número de haces por satélite y polarización	2 y RHCP + 2 y LHCP													
2. Espectro requerido en cada sentido (MHz)	500													
3a Portadora del enlace ascendente	MF/TV		64 kbit/s IDR											
¿Identificación de haces?	Mundial	Hemi	Mundial	Hemi										
Anchura de banda ocupada	30 MHz		51,2 kHz		51,2 kHz									
C/N o E _p /N ₀ mínima requerida (dB)														
3b Portadora del enlace descendente	Como enlace ascendente													
Anchura de banda ocupada (MHz)	Como enlace ascendente													
C/N o E _p /N ₀ mínima requerida ⁽¹⁾ (dB)	17,7		9,7		17,7		9,7		17,7		9,7		5	
4. Parámetros del enlace ascendente														
Potencia del transmisor a la antena (dBW)	20													
Dimensión de la antena de transmisión (m)	5													
Ganancia de la antena de transmisión (dB)	57,8		51,6		52,5		50,7		55,5		61,9		69,0	
p.i.r.e. (dBW)	85,4		48,3		46,1		14,6 ⁽²⁾		40,9		81,9		91,0	
G/T de cresta del sistema (dB K ⁻¹)	21,8													
Abertura de haz de la antena de recepción (grados)														
Diagrama del lóbulo lateral de recepción														
Antena orientable o no	No													

Anexo “GOLFO”

Ficha técnica:

Información Técnica Satélite de Telecomunicaciones TKSAT-1			
Tipo de Satélite	Comunicaciones	Número de canales	30
Bandas de Frecuencias	C / Ku FSS / Ku BSS / Ka	Fecha de lanzamiento	Diciembre 2013
Vida útil estimada	15 años	Plataforma	DFH-4
Dimensiones	2360mm × 2100mm × 3600mm	Peso	5100 Kg.
Posición orbital	87.2° Oeste	Tipo de órbita	Geoestacionaria
Altitud orbital	36,000 Km.	Vehículo de lanzamiento	LM.3BE

Parámetros de funcionamiento

Banda Ku FSS		Banda Ku BSS	
Total Canales	22	Total transponders	4
Ancho de Banda por Canal	36 MHz	MHz por Transponders	36MHz
Polarización Uplink	V/H	Polarización Uplink	LHCP
Polarización Downlink	H/V	Polarización Downlink	RCHP
EIRP al borde de las áreas de Cobertura	(46 – 46 – 49) dBW	EIRP al borde del área de Cobertura	54 dBW
Banda Ka		Banda C	
Total Transponders	2	Total Transponders	2
MHz por Transponders	120 MHz	MHz por Transponders	28 MHz
Polarización Uplink	RHCP	Polarización Uplink	LHCP
Polarización Downlink	LHCP	Polarización Downlink	RHCP
EIRP al borde de las áreas de Cobertura	51 dBW	EIRP al borde de las áreas de Cobertura	(40,5 – 36) dBW

Datos técnicos del TKSAT-1 en banda Ka

Tabla 2.3. Transpondedores en banda Ka

Transp.	Tecnología	Ancho de banda (MHz)	Frecuencia central de subida (MHz)	Polarización de subida	Frecuencia central de bajada (MHz)	Polarización de bajada	Potencia (W)	PIRE (dBW)	SFD (dBW/m ²)	G/T (dBK)	Mínimo IBO/OBO (dB)
Ka1A	LCTWTA	120	28.875,00	Vertical	19.075,00	Horizontal	50,00	45 ± 50	-(63+G/T) ± -(83+G/T)	4 a 12	2,5 / 1,5
Ka2A	LCTWTA	120	29.025,00	Vertical	19.225,00	Horizontal	50,00	45 ± 50	-(63+G/T) ± -(83+G/T)	4 a 12	2,1 / 1,0

Datos técnicos del Venesat-1 en banda Ka

Anexo “HOTEL”

SPECIFICATIONS

MDM2210
SATELLITE TERMINALS



Key Features

- High level of integration
- Low power consumption
- Suitable for all weather conditions
- Offset feed clamp option or Quad iLNB for DTH reception
- Ku/Ka-dual band antennas support operational flexibility

Performance

ODU TYPE	Ku-band								Ka-band			Watt
	ILB2120 ANT2010 0.75 m	ILB2120 ANT2025 1 m	ILB2121 ANT2035 1.2 m	ILB2140 ANT2010 0.75 m	ILB2140 ANT2025 1 m	ILB2141 ANT2035 1.2 m	ILB2145 ANT2010 0.75 m	ILB2145 ANT2025 1 m	ILB2220 ANT2010 0.75 m	ILB2220 ANT2025 1m	ILB2221 ANT2035 1.2 m	
Rated Power	0.8	0.8	0.8	2	2	2	2	2	2	2	2	
RX frequency range	10.7-12.75								18.1-20.2			GHz
XPD RX	24	24	26	24	24	26	24	24	22			dB
G/T (mid-band)	15.4	17.9	19.4	15.4	17.9	19.4	15.1	17.6	18.6	21.1	22.2	dB/K
TX frequency range	13.75-14.5								28.1-30			GHz
XPD TX	24	24	26	24	24	26	24	24	24			dB
EIRP (mid-band)	37.8	40.3	41.9	41.8	44.3	45.9	41.7	44.2	47.9	50.4	52.0	dBW

iLNB Interface

- 2 F-connectors
- ILB2220/ILB2221: 1 F-connector
- ILB2145: 5 F-connectors

Standards

- RoHS compliance
- CE compliance
- WEEE

Continua.

SPECIFICATIONS

MDM2210
IP SATELLITE MODEM



Key Features

- Small size, table top or wall mounted
- Optional Wi-Fi and advanced routing support
- Wideband DVB-S2X ACM Forward
- 4CPM MF-TDMA Adaptive Return Link
- Embedded TCP acceleration and encryption
- Multilevel Quality of Service
- Layer 3 support with versatile IP routing and addressing
- Low jitter for real-time applications
- DNS Cache/Relay
- Support of IPv4 and IPv6
- Multiple virtual networks behind the modem
- Over-the-air software upgradability
- Over-the-air monitoring and diagnostic tools
- Dual satellite configuration settings
- Ka- and Ku-band terminal solutions
- Support for single cable LNBs

Markets

- Consumer
- SOHO
- SME
- Government
- Education
- Enterprise

Applications

- Internet / Intranet access
- Streaming video and audio with TV quality
- VoIP telephony (SIP, H.323, G.729, ...)
- Content distribution and management
- Telemetry (SCADA)
- Point of Sale terminals
- Banking

Satellite Link Interface

FORWARD CARRIER (RX)

- Standard: DVB-S2/DVB-S2X
- Modulation: QPSK, 8PSK, 16APSK, 32APSK, 64APSK
- Coding: According to standard MODCOD definition
- Roll-off: 5, 10, 15, 20, 25, 35%
- Symbol rate: 2.4 Mbaud to 500 Mbaud

RETURN CARRIER (TX)

- Modulation: 4CPM (Gateway Continuous Phase Modulation)
- Access Scheme: Multi Frequency TDMA (Time Division Multiple Access)
- Channel bandwidth: 126, 192, 258, 394, 512, 768, 1024, 1536, 2048, 2560, 3072, 3584, 4096 kHz
- MODCODs: 0, 1, 2, 3, 4, 5

Performance

- Max RX rate TCP: 100 Mb/s
- Max RX rate UDP: 120 Mb/s
- Max TX rate TCP: 5 Mb/s
- Max TX rate UDP: 5 Mb/s

Modem Interfaces

RF INPUT/OUTPUT

- Connector: F-connector 75 Ohm
- RX frequency range: 950-2150 MHz
- RX level: -45 to -25 dBm
- TX frequency range: 2750-3000 MHz
- TX level: 0 dBm

LOCAL AREA CONNECTION

1x 802.3ab 1000T Ethernet

OPTIONAL WI-FI:

802.11 b/g/n, 2.4 GHz

MASS STORAGE

MicroSD card (future use)

Mechanical & Environment

- Housing: 186 x 152 x 16 mm
- Weight: 475 g
- Operating temperature: 0 to 40°C
- Humidity: 5% - 95% non-condensing
- Storage: -10 to 50°C

Power Supply

- DC voltage: 16 or 24 V (depending on LNB)
- Mains adaptor input: Mains AC, 50 Hz/210-240 V and 60 Hz/100-120 V
- Power consumption: <30 W (5.8 W Ku LNB) / <30 W (2 W S-Band)

IP Features

- Protocols: UDP (P4MPv1), ICMP, TCP, IGMPv1, IGMPv2, ARP, DHCP, DNS, NTP, DiffServ/Marking
- Networking: Static routes, Terminal VLAN/VRF, NAT (Wi-Fi option)

Management Interfaces

- Multilingual web GUI
- Over-the-air software & configuration updates
- Over-the-air monitoring, self-test and diagnostics
- SNMP v2c

Software Release

- Specifications valid for Newtec Dialog RD.1

Standards

- EN30207: DVB-S2
- EN301408: Ku-band VSAT conformity
- EN301409: Ka-band VSAT conformity
- IEEE 802.3: 10T Ethernet
- IEEE 802.3a: 100TX Ethernet
- IEEE 802.3ab: 1000T Ethernet

Continua.



Satellite Terminals

The Newtec MDM2210 IP Satellite Modem is packaged with an easy to install, high-performance Outdoor Unit (OOU). This terminal package is highly optimized for cost, efficiency and ease of use. The OOU consists of a high quality, easy-to-install antenna, an integrated transmitter and low noise block down converter (LNB).

Straightforward Logistics

The MDM2210 terminal is delivered in a compact package. The modem and outdoor unit are copackaged in a single box with the following accessories: RF cable, ethernet cable, documentation and Point & Play devices. Antennas are shipped in bulk for cost-optimized freight.

Power Efficiency

The MDM2210 return technology is compatible with fully saturated transmitters. On top of the power efficient technology, the saturated output power gives even higher power efficiency.

Ease of Installation

The antenna mast-head for 75cm and 1m antennas is completely pre-mounted and does not require additional assembly work. The complete OOU Portfolio is compatible with Point & Play easy-installation technology, supporting the installation of the complete terminal without any specific qualification or expensive tools needed.

Wide Coverage and Flexibility

The antenna portfolio covers both Ku- and Ka-band for different sizes. For 75cm and 1m, the antennas can be used both in Ku- and Ka-band. Therefore, a network in Ku-band can be set up and transferred to Ka-band at the appropriate time with limited extra investment.



	Ku			Ka		
	75 cm	1 m	1.2 m	75 cm	1 m	1.2 m
0.5W	✓	✓				
0.8W	✓	✓	✓			
2.0W	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2.0W quad	✓	✓				

Anexo "INDIA"

SHAPING THE FUTURE OF SATELLITE COMMUNICATIONS

Dirección Air MAC: 00.06.39.91.36.9c ES

Ethernet Wi-Fi Satélite Software Reiniciar

- Estatus de Terminal
- Instalación de Terminal
- Configuración de Terminal
- Interfaz Ethernet
- Interfaz Wi-Fi
- Interfaz satelital**
- Unidad de exterior
- Multicast
- Información del equipo
- Diagnósticos
- Accediendo Prueba
- Wi-Fi

Ajustes de Satélite

General

Beam ID Configurado: 1
Beam ID:

Propiedades de Satélite

Polarización Skew: 0.00°
Posición Orbital: 87.2°
Variación de Latitud de Satélite: 0.00°
Skew máximo: 0.00°
Polarización de Transmisión:
Parámetros Extra Hunt:

Activar Windows
Ve a Configuración pa

Portadora de Recepción Inicial

	Portadora de Recepción Inicial 1	Portadora de Recepción Inicial 2
Por Defecto	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Modo de Transporte		
Numero de Time Slice		
Frecuencia	19.1815000 GHz	19.0885000 GHz
Frecuencia de Símbolo	60.00000 Mbaud	60.00000 Mbaud
Polarización		

Portadora de apuntamiento

	Portadora de apuntamiento 1	Portadora de apuntamiento 2
Por Defecto	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Modo de Transporte		
Numero de Time Slice		
Frecuencia	19.1815000 GHz	19.0885000 GHz
Frecuencia de Símbolo	60.00000 Mbaud	60.00000 Mbaud
Polarización		

Portadora de recepción del TKSAT-1

Continua.

The screenshot displays the Newtec web interface for configuring an ODU. At the top, the Newtec logo is on the left, and the slogan "SHAPING THE FUTURE OF SATELLITE COMMUNICATIONS" is on the right. Below the logo, the "Dirección Air MAC: 00.06.39.91.36.9c" is shown. A status bar contains indicators for Ethernet (green), Wi-Fi (orange), Satélite (red), and Software (red), along with a "Reiniciar" button. A left-hand navigation menu lists various system components, with "Unidad de exterior" selected. The main content area is titled "Configuración de ODU" and includes a sub-section for "Configuración del Tipo de ODU" with various parameters like ID del ODU Activo, ID del Tipo de ODU, and Power Off Timeout. Below this is the "Recepción" section, which includes a table for LNB frequency ranges (Banda Baja and Banda Alta) and a "Transmisión" section with a table for MUC and Amperaje settings.

Newtec SHAPING THE FUTURE OF SATELLITE COMMUNICATIONS

Dirección Air MAC: 00.06.39.91.36.9c ES

Ethernet Wi-Fi Satélite Software Reiniciar

Estatus de Terminal
Instalación de Terminal
Configuración de Terminal
Interfaz Ethernet
Interfaz Wi-Fi
Interfaz satelital
Unidad de exterior
Multicast
Información del equipo
Diagnósticos
Accediendo
Prueba
Wi-Fi

Configuración de ODU

Configuración del Tipo de ODU

ID del ODU Activo: 7
ID del Tipo de ODU: 7
Descripción del ODU:
Power Off Timeout: 0 secs
Compensación de Elevación: 71.52 °
Tipo de Reflector:
Indicación de Polarización Linear: 90 °
Lectura de Feed Positiva:
Lectura de Feed Cuando RX Horizontal: 90 °
Coaxial Simple:

Activar Windows
Ve a Configuración pa

Recepción

Tipo de LNB
Tono 22 kHz
Voltaje:

	L.O.	RF Start	RF Stop
Banda Baja	17.150 GHz	18.100 GHz	19.150 GHz
Banda Alta	18.050 GHz	19.150 GHz	20.200 GHz

Transmisión

	Multiplicador	RF Start	RF Stop
MUC	10	28.100 GHz	30.000 GHz

Amperaje	Min	Máx
	150 mA	1500 mA

Rangos de frecuencia en Tx/Rx del TKSAT-1

Anexo “JULIET”

UPLINK		DOWNLINK
27.0 GHz	Uplink para SFS sólo en Región 2 y 3	17.3 GHz
27.5 GHz		17.7 GHz
Limites DFPE		Limites DFPE 17.8 - 18.6 GHz
28.1 GHz	1.1 GHz disponible en las tres regiones con excepción de algunos países donde se comparte con servicios SDLM	18.3 GHz
Limites DFPE		
28.6 GHz	500 Mhz para NO-GEO y GEO con los mismos derechos de uso, previa coordinación de diseño	18.8 GHz
29.1 GHz	400 Mhz para enlaces de conexión de NO-GEO. GEO puede utilizarlo previa coordinación de diseño	19.3 GHz
29.5 GHz	500 Mhz disponibles para SFS GEO	19.7 GHz
Limites DFPE		Limites DFPE
30.0 GHz	1 Ghz para SFS de uso Militar y Gobierno	20.2 GHz
31.0 GHz		21.2 GHz

Figura 2: Asignación de frecuencias de Banda Ka para redes de comunicaciones por satélite

Anexo “KILO”

ANTENA CASSEGRAIN 7.3M BANDA KA.....NEWSTAR

Reflector principal sub reflector, apoyo, respaldo del bastidor, kingpost, alimentación, la antena AZ/El sistema de transmisión, el dibujo de la fundación, fundación de la plantilla y componente estándar.

El modelo	NS-SECK-730	
	Banda Ka	
	Recibir	Transmitir
La frecuencia de funcionamiento GHz	18.2~22	27~30
Ganar, Mid-Band dBi	61.51	64.54
La polarización	La circular	
La relación axial(4 puerto, circular)	1.0	1.0
VSWR	1.25:1	1.25:1
La temperatura de ruido EL : 10° 30° 50°	120k 80k 71k	/

G/T de dB/K, 10°E1	36.70	/
El ancho de haz de -3dB	0,14°	0,10°
Pérdida de inserción, dB	0.7	0.7
Capacidad de potencia, KW		5
Interface	WR-42	WR-28
Aislamiento Rx-Tx, dB	85	
En primer lugar sidelobe, dB lo lóbulos laterales, dBi	-14 29 - 25 log $\theta(1^\circ \leq \theta < 20^\circ)$	-14 29 - 25 log $\theta(1^\circ \leq \theta < 20^\circ)$

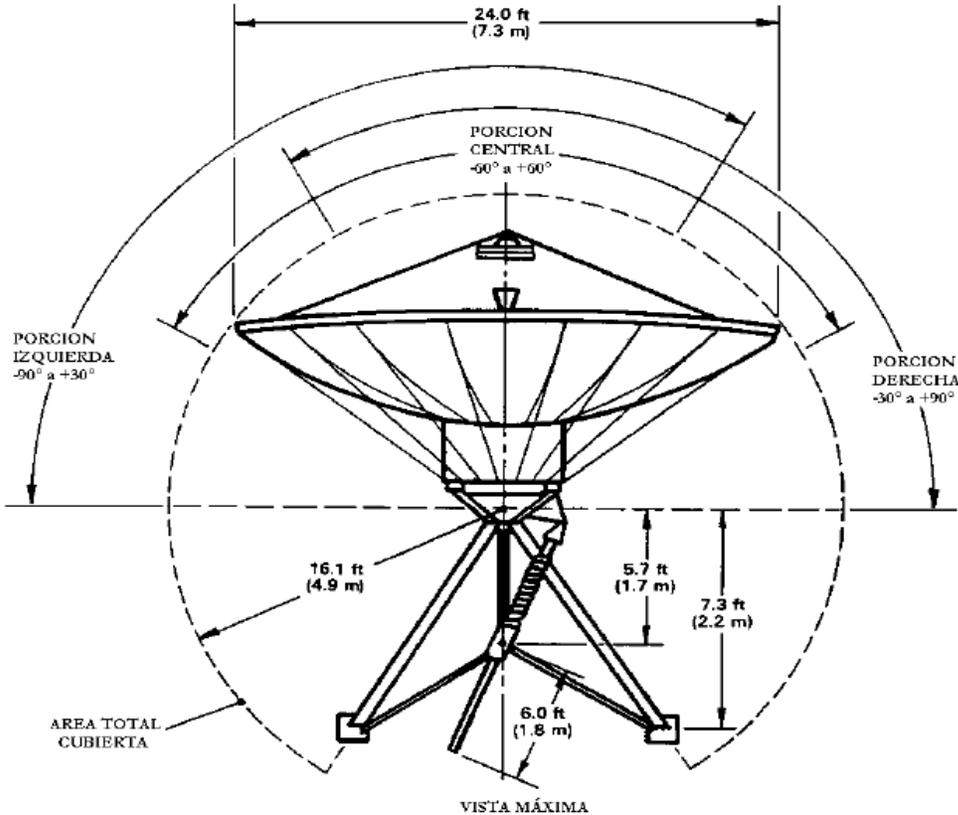
Especificaciones mecánicas

El diámetro de la antena	7.3M
Tipo de antena	Enfoque de anillo
Tipo de montaje de la antena	AZ/EL adoptar la estructura de tornamesa
RMS	≤ 0,3 mm
El peso de la antena(N.W)	8000kg.
Recorrido de la antena AZ EL	± 170° (continua) 5° 90° aprox.
Modo de transmisión de la antena	Control de motor doble
Sistema servo de la velocidad de rotación de AZ EL velocidad de rotación de	0.5-0.01°/s 0.5-0.01°/s

Especificaciones de medio ambiente

Trabajar la velocidad del viento	A 72 km/h
Sin daño	216 km/h
La temperatura de trabajo	-30°C~50°C
La humedad	100%

Continua.



Características de la Antena de 7.3 metros

Anexo “LIMA”



China Starwin 0.76M KA BAND VSAT ANTENNA



General Description of 0.76m Ka VSAT antenna

China Starwin 0.76 m Ka band VSAT antenna is the robust, high performance and most cost-effective satellite antenna dish designed for Ka-band transmit and receive operation worldwide, for broadband service on High-Throughput Satellites (HTSs).

This new 0.76m Ka band dish antenna provides a fine reflector with a stretch formed steel panel and the high performance ka band feeder.

The special designed azimuth over elevation pedestal provides a cost-effective solution for ground or roof installation with high stiffness, stability and good wind resistance.

The electrical performance is compliant with FCC and ITU-RS-580 sidelobe specifications and Intelsat, Eutelsat, SES, AsiaSat, ChinaSat, etc requirement.

Features of 76cm Ka band VSAT antenna

- 76cm Ka band VSAT satellite dish antenna
- Commercial/ Military Ka-band frequency
- One-piece precision steel reflector
- High performance feeder
- Fine Az/EI adjustment and pedestal system
- Most cost-effective solution

China Starwin Science&Technology Co., Ltd.
Tel:+8629-88664381, E-mail:sales@starwincom.com, <http://www.starwincom.com>
Copyright©2019 Starwin

2018 Version

Continua.

Especificación técnica

Artículo No.	SWKA7 6 -CP2 (antena de banda Starwii n 0.76m Ka)
Diámetro de la antena	0,76 millones
Tipo de antena	Compensar
Tipo de pedestal de antena	Puesto rey
Modo de conducción de antena	Manual
Rango de frecuencia	Tx : 28 GHz ~ 31 GHz Rx : 18.2 GHz ~ 21.0 GHz
Ganancia de antena (dBi)	Tx: $G \geq 44.0 + 20 \lg (f / 29.5)$ Rx: $G \geq 41.0 + 20 \lg (f / 19.95)$
VSWR	$\leq 1.25: 1$
Polarización	Circular o Liner
Primer lóbulo lateral	≤ -14.5 dB
Interfaz de alimentación	Puerto Rx: WR42, puerto Tx: WR28
Área de manejo	Azimut: $\pm 85^\circ$ debajo de la elevación: $5^\circ \sim 85^\circ$
Operación Velocidad del viento	28 m / s
Temperatura de trabajo	$-40^\circ \text{C} \sim +70^\circ \text{C}$ (al aire libre)

Características técnicas de antena industria China de 0.76 m. diámetro

Anexo "MIKE"

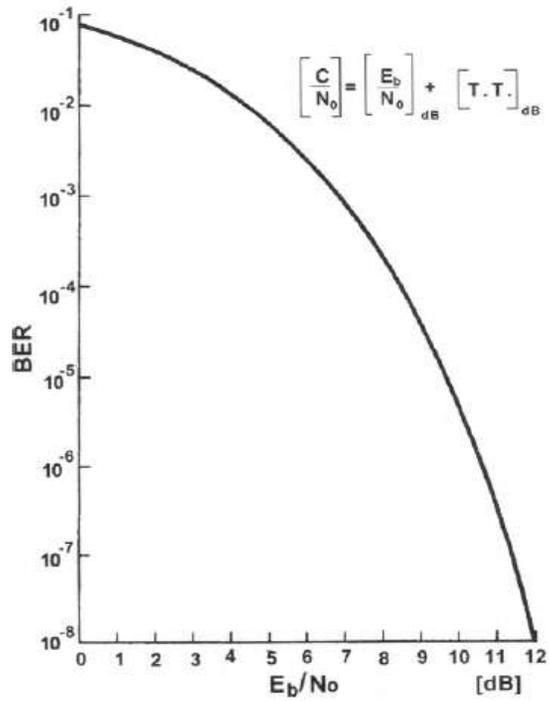


Figura 6. Relación entre la probabilidad de error y el cociente E_b/N_0 para un demodulador QPSK

C.L. Ordóñez-Romero, R. Neri-Vela, S. Landeros-Ayala, V. Altamirano-Guerrero, A.Malpica-Maury. *División de Ingeniería Eléctrica y Departamento de Telecomunicaciones, Facultad de Ingeniería, UNAM E-mail: cisarebbe@libero.it*

Relación entre la probabilidad de error y el cociente E_b/N_0

Anexo “NOVEMBER”

Newtec SHAPING THE FUTURE OF SATELLITE COMMUNICATIONS

Nombre de host: BOLSAT/PreprovisionV5-321/slt_43918 Dirección Air MAC: 00.06.39.91.36.8d ES

Ethernet Wi-Fi Satellite Software Reiniciar

Estatus de Terminal

Resumen

Ethernet	Estatus Ethernet	Ok
Wi-Fi	Estatus de Wi-Fi	Wi-Fi operational but no leases
Satélite	ID de beam activo	1
	Estatus de Modem	operational - CPM
	Demodulador	-32.0 dBm, Es/No: 11.0 dB, "TKSAT-1-KA"
	Polarización de recepción real	Circular Left

Es/No con antena de 1 m.

Newtec SHAPING THE FUTURE OF SATELLITE COMMUNICATIONS

Dirección Air MAC: 00.06.39.91.36.9c ES

Ethernet Wi-Fi Satellite Software Reiniciar

Estatus de Terminal

Resumen

Ethernet	Estatus Ethernet	Warning
Wi-Fi	Estatus de Wi-Fi	Wi-Fi operational but no leases
Satélite	ID de beam activo	1
	Estatus de Modem	operational - CPM
	Demodulador	-32.0 dBm, Es/No: 10.9 dB, "TKSAT-1-KA"
	Polarización de recepción real	Circular Left

Es/No con antena de 0,76 m.
Datos verificados in situ de los modem MDM2210

Mario Jaime Colque Urquiza
columlink@gmail.com
73288376



DIRECCIÓN DE DERECHO DE AUTOR
Y DERECHOS CONEXOS
RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA NRO. 1-3938/2023
La Paz, 21 de Noviembre del 2023

VISTOS:

La solicitud de Inscripción de Derecho de Autor presentada en fecha **14 de Noviembre del 2023**, por **MARIO JAIME COLQUE URQUIZO** con C.I. N° **3392310 LP**, con número de trámite **DA 2173/2023**, señala la pretensión de inscripción del Proyecto de Grado titulado: **"DIMENSIONAMIENTO DEL TRANSPONDER EN BANDA Ka DEL SATÉLITE TUPAC KATARI PARA EL USO DE LAS VSAT"**, cuyos datos y antecedentes se encuentran adjuntos y expresados en el Formulario de Declaración Jurada.

CONSIDERANDO

Que, en observación al Artículo 4º del Decreto Supremo N° 27938 modificado parcialmente por el Decreto Supremo N° 28152 el *"Servicio Nacional de Propiedad Intelectual SENAPI, administra en forma desconcentrada e integral el régimen de la Propiedad Intelectual en todos sus componentes, mediante una estricta observancia de los regímenes legales de la Propiedad Intelectual, de la vigilancia de su cumplimiento y de una efectiva protección de los derechos de exclusiva referidos a la propiedad industrial, al derecho de autor y derechos conexos; constituyéndose en la oficina nacional competente respecto de los tratados internacionales y acuerdos regionales suscritos y adheridos por el país, así como de las normas y regímenes comunes que en materia de Propiedad Intelectual se han adoptado en el marco del proceso andino de integración"*.

Que, el Artículo 16º del Decreto Supremo N° 27938 establece *"Como núcleo técnico y operativo del SENAPI funcionan las Direcciones Técnicas que son las encargadas de la evaluación y procesamiento de las solicitudes de derechos de propiedad intelectual, de conformidad a los distintos regímenes legales aplicables a cada área de gestión"*. En ese marco, la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos otorga registros con carácter declarativo sobre las obras del ingenio cualquiera que sea el género o forma de expresión, sin importar el mérito literario o artístico a través de la inscripción y la difusión, en cumplimiento a la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, Ley de Derecho de Autor N° 1322, Decreto Reglamentario N° 23907 y demás normativa vigente sobre la materia.

Que, la solicitud presentada cumple con: el Artículo 6º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, el Artículo 26º inciso a) del Decreto Supremo N° 23907 Reglamento de la Ley de Derecho de Autor, y con el Artículo 4º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina.

Que, de conformidad al Artículo 18º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor en concordancia con el Artículo 18º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, referentes a la duración de los Derechos Patrimoniales, los mismos establecen que: *"la duración de la protección concedida por la presente ley será para toda la vida del autor y por 50 años después de su muerte, a favor de sus herederos, legatarios y cesionarios"*.



"2023 AÑO DE LA JUVENTUD HACIA EL BICENTENARIO"

Oficina Central - La Paz
Av. Maese, N° 575,
entre Esp. Uruguay y
C. Bartolito Illanesi.
Telf.: 2195000
2195276 - 2195259

Oficina - Santa Cruz
Av. Uruguay, Calle
prolongación Quijara,
N° 29, Edif. Bicentenario.
Telf.: 3229252 - 32042936

Oficina - Cochabamba
Calle Bolivia, N° 731,
entre 16 de Julio y Arceana.
Telf.: 5444401 - 72042957

Oficina - El Alto
Av. Juan Pablo II, N° 2950
Edif. Multicentro El Ceibo
Uda. Piso 2, Of. 58,
Zona 16 de Julio.
Telf.: 2400000 - 2404000

Oficina - Ortopalca
Calle Kilómetro 7, N° 306
casi esq. Uribeaguirre,
Zona Parque Bolívar.
Telf.: 2400573

Oficina - Tarija
Av. La Paz, entre
Calles Cruz Tello y Anacoí
Edif. Santa Clara, N° 203.
Telf.: 2200586

Oficina - Oruro
Calle 6 de Octubre N° 5827
entre Ayacucho y Justo,
Galileo Central, Of. 14.
Telf.: 6200000

Oficina - Potosí
Av. Villalón entre calles
Mentelán Alba y San Alberto,
Edif. APH, Salinas N° 260,
Primer Piso, Of. 12.
Telf.: 7200000

www.senapi.gob.bo

Que, se deja establecido en conformidad al Artículo 4º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, y Artículo 7º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina que: *"...No son objeto de protección las ideas contenidas en las obras literarias, artísticas, o el contenido ideológico o técnico de las obras científicas ni su aprovechamiento industrial o comercial"*.

Que, el artículo 4, inciso e) de la ley 2341 de Procedimiento Administrativo, instituye que: *"... en la relación de los particulares con la Administración Pública, se presume el principio de buena fe. La confianza, la cooperación y la lealtad en la actuación de los servidores públicos y de los ciudadanos ..."*, por lo que se presume la buena fe de los administrados respecto a las solicitudes de registro y la declaración jurada respecto a la originalidad de la obra.

POR TANTO

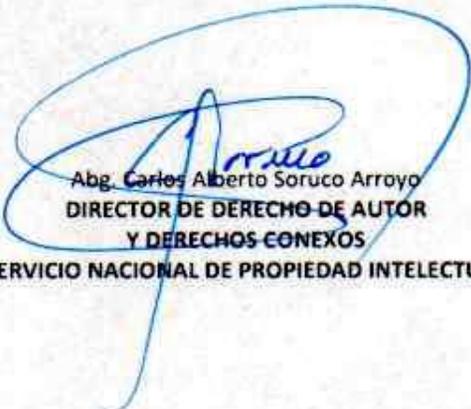
El Director de Derecho de Autor y Derechos Conexos sin ingresar en mayores consideraciones de orden legal, en ejercicio de las atribuciones conferidas

RESUELVE:

INSCRIBIR en el Registro de Tesis, Proyectos de Grado, Monografías y Otras Similares de la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos, el Proyecto de Grado titulado: **"DIMENSIONAMIENTO DEL TRANSPONDER EN BANDA Ka DEL SATÉLITE TUPAC KATARI PARA EL USO DE LAS VSAT"**, a favor del autor y titular: **MARIO JAIME COLQUE URQUIZO** con C.I. N° **3392310 LP**, quedando amparado su derecho conforme a Ley, salvando el mejor derecho que terceras personas pudieren demostrar.

Regístrese, Comuníquese y Archívese.




Abg. Carlos Alberto Soruco Arroyo
DIRECTOR DE DERECHO DE AUTOR
Y DERECHOS CONEXOS
SERVICIO NACIONAL DE PROPIEDAD INTELECTUAL



"2023 AÑO DE LA JUVENTUD HACIA EL BICENTENARIO"

Oficina Central - La Paz
Av. Morón, N° 205,
entre Cto. Uruguay y
C. Batallón Almirante
Telf.: 2193700
2193706 - 2193707

Oficina - Santa Cruz
Av. Uruguay, Calle
prolongación Quiroga,
N° 24, Edif. Bicentenario
Telf.: 3207251 - 32042926

Oficina - Cochabamba
Calle Bolivia, N° 731,
entre Vía de Julio y Antezana
Telf.: 4442481 - 72042927

Oficina - El Alto
Av. Juan Pablo II, N° 2560
Edif. Multicentros El Centro
Telf.: Pico 2, Of. 98,
Zona Vía de Julio
Telf.: 2349001 - 72042929

Oficina - Chapacura
Calle Kilmerton, N° 966
cas. esp. Urubakagata,
Zona Parque Bolívar
Telf.: 72005873

Oficina - Tarija
Av. La Paz, entre
Calles Cero Trigo y Avenida
Telf.: Santa Clara, N° 34,
Telf.: 72005286

Oficina - Oruro
Calle O de Sotomayor N° 5827
entre Ayacucho y Lanza,
Galería Central, Of. 14,
Telf.: 6220088

Oficina - Potosí
Av. Villalón entre calles
Wenceslao Alva y San Alberto,
Edif. IM, Salinas N° 242,
Primer Piso, Of. 11,
Telf.: 72001660

www.senapi.gob.bo