

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA ELECTRONICA



INFORME DE TESIS:

**“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE UN SISTEMA VSAT POR
SATÉLITE, PARA INTERCONECTAR LAS LOCALIDADES
REMOTAS DE LA REGIÓN DE TACNA A LA RED DORSAL
NACIONAL DE FIBRA ÓPTICA”**

PARA OPTAR:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR:

Bachiller en Ingeniería Robert Hermes URQUIA BUSTOS

TACNA - PERÚ

2017

RESUMEN

Este proyecto presenta el diseño de una red de comunicaciones satelitales por internet utilizando la tecnología VSAT.

Primero se realiza un estudio de las redes VSAT, dejando claro el concepto de los servicios que estas redes proveen, bajo que condiciones trabajan y a las localidades a las que van orientadas. En seguida se hace un dimensionamiento de la red para establecer los factores que de acuerdo con las características de la zona, de los equipos y del satélite, que deben tenerse en cuenta para realizar el enlace.

A continuación, se efectúan los cálculos teóricos, especificando los parámetros del diseño de la red VSAT propuesta. Luego se analiza los resultados obtenidos de dichos parámetros.

Por último se compara la tecnología VSAT con otros sistemas para destacar sus principales características.

ABSTRACT

This project presents the design of an Internet satellite communications network using VSAT technology.

First, a study of the VSAT networks is made, making clear the concept of the services provided by these networks, under which conditions they work and the localities to which they are oriented. Next, a sizing of the network is done to establish the factors that according to the characteristics of the area, the equipment and the satellite, that must be taken into account to make the link.

Next, the theoretical calculations are made, specifying the design parameters of the proposed VSAT network. The results obtained from these parameters are then analyzed. Finally, VSAT technology is compared with other systems to highlight its main features.

INDICE

	Pág
INTRODUCCIÓN	1
<u>CAPITULO I:</u>	
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1 ANÁLISIS DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	2
1.1.1 Determinación del problema	2
1.1.2 Delimitaciones del problema	3
1.1.2.1 <u>Delimitación Espacial</u>	3
1.1.2.2 <u>Delimitación Temporal</u>	3
1.1.2.3 <u>Delimitación Social</u>	3
1.1.2.4 <u>Delimitación Conceptual</u>	4
1.1.3 Formulación del problema	4
1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION	5
1.2.1 Objetivo General	5
1.2.2 Objetivos Específicos	5
1.3 DEFINICIÓN OPERACIONAL DE LAS VARIABLES	5
1.3.1 Estudio de Factibilidad de una Red VSAT	5
1.3.2 Localidades remotas	5
1.3.3 Interconexión a la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica	5
1.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	5
1.4.1 Variable Independiente	5
1.4.2 Variable Dependiente	5
1.5 SISTEMA DE HIPÓTESIS	6
1.5.1 Hipótesis General	6
1.5.2 Hipótesis específicas	6
1.6 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	6
1.7 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	7
1.8 PROCEDIMIENTOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	7
1.8.1 Procedimientos	7
1.8.2 Instrumentos	8

<u>CAPITULO II:</u>		
	MARCO TEÓRICO	9
2.1	SISTEMAS DE COMUNICACION POR SATELITE	9
2.1.1	Satélites artificiales	9
2.1.2	Modelos de enlace del sistema satelital	9
2.1.3	Estructura de un sistema satelital	12
2.1.4	Satélites geoestacionarios	13
2.1.5	Bandas y frecuencias asignadas	15
2.1.6	Orientación de una antena de una Estación Terrena	16
2.1.7	Atenuación por lluvia	19
2.2	LOS SISTEMAS VSAT	19
2.2.1	Introducción	19
2.2.2	Topologías de red VSAT	22
2.2.3	Formulación para el balance de enlace en un sistema VSAT	23
2.3	TIPOS DE ACTIVIDAD ATMOSFERICA	25
2.3.1	Los hidrometeoros	25
2.3.4	Precipitación pluvial	26
2.3.4.1	<u>Tipos de precipitaciones</u>	27
2.4	EL COMPORTAMIENTO DE LLUVIAS EN EL PERU	29
2.4.1	Características generales	29
2.5	EL DEPARTAMENTO DE TACNA	29
2.5.1	Provincia de Tacna	32
2.5.2	Provincia de Candarave	34
2.5.3	Provincia Jorge Basadre	35
2.5.4	Provincia Tarata	36
<u>CAPITULO III:</u>		
	DIMENSIONAMIENTO DE LA RED	38
3.1	TOPOLOGÍA DE LA RED	38
3.2	SELECCIÓN DEL SATÉLITE	38
3.2.1	Características técnicas del satélite geoestacionario	39
3.3	EQUIPOS VSAT	40
3.4	TAMAÑO DE LA RED	42
3.5	CONEXIÓN A LA RED DORSAL NACIONAL DE FIBRA ÓPTICA	42

<u>CAPITULO IV:</u>	
	DISEÑO DE LA RED VSAT 43
4.1	DETERMINACIÓN DE LAS LOCALIDADES 43
4.2	DISEÑO DE LAS ESTACIONES TERMINALES VSAT 43
4.2.1	Cálculo de los parámetros de una estación terrena 43
4.2.1.1	<u>SAMA GRANDE</u> 44
4.2.1.2	<u>TARUCACHI</u> 45
4.2.1.3	<u>YABROCO</u> 46
4.1.2.4	<u>SANTA CRUZ</u> 47
4.1.2.5	<u>CAMILACA</u> 48
4.1.2.6	<u>BOROGUEÑA – ILABAYA</u> 49
4.1.2.7	<u>ALTO PERÚ</u> 50
4.1.2.8	<u>VILAVILANI</u> 51
4.2.1.9	<u>CAPLINA (ANCOMA)</u> 52
4.2.2	Evaluación de los resultados 53
4.3	DETERMINACION DE PARAMETROS DE UN ENLACE SATELITAL 54
4.3.1	Características de la Estación Terrena 54
4.3.2	Determinación de los parámetros del up-link 54
4.3.3	Determinación de los parámetros del down-link 56
4.4	PÉRDIDAS DEBIDO A LA LLUVIA (L_{rain}) EN LAS ESTACIONES VSAT DE LA REGIÓN TACNA 59
4.4.1	Método para predecir la atenuación por la lluvia 59
4.4.2	Consideraciones para el cálculo de las pérdidas por lluvia 62
4.4.3	Determinación de precipitación pluvial por localidad 62
4.4.3.1	<u>Estación Sama Grande</u> 63
4.4.3.2	<u>Estación Tarucachi</u> 64
4.4.3.3	<u>Estación Yabroco</u> 65
4.4.3.4	<u>Estación Santa Cruz</u> 66
4.4.3.5	<u>Estación Camilaca</u> 67
4.4.3.6	<u>Estación Borogueña</u> 68
4.4.3.7	<u>Estación Alto Perú</u> 69
4.4.3.8	<u>Estación Vilavilani</u> 70
4.4.3.9	<u>Estación Caplina-Ancoma</u> 71
4.4.4	Cálculo de las pérdidas por precipitaciones 72
4.4.4.1	<u>Estación Sama Grande</u> 72

4.4.4.2	<u>Estación Tarucachi</u>	73
4.4.4.3	<u>Estación Yabroco-Susapaya</u>	73
4.4.4.4	<u>Estación Santa Cruz</u>	74
4.4.4.5	<u>Estación Camilaca</u>	75
4.4.4.6	<u>Estación Borogueña-Ilabaya</u>	76
4.4.4.7	<u>Estación Alto Perú</u>	76
4.4.4.8	<u>Estación Vilavilani</u>	77
4.4.4.9	<u>Estación Caplina-Ancoma</u>	78
4.5	DISEÑO DEL ENLACE DE SUBIDA PARA EL ACCESO A INTERNET	79
4.5.1	Estación Sama Grande	79
4.5.2	Estación Tarucachi	81
4.5.3	Estación Yabroco-Susapaya	83
4.5.4	Estación Santa Cruz	85
4.5.5	Estación Camilaca	87
4.5.6	Estación Borogueña-Ilabaya	89
4.5.7	Estación Alto Perú	91
4.5.8	Estación Vilavilani	93
4.5.9	Estación Caplina-Pachia	95
4.6	DISEÑO DEL ENLACE DE BAJADA PARA EL ACCESO INTERNET	97
4.6.1	Estación Sama Grande	97
4.6.2	Estación Tarucachi	98
4.6.3	Estación Yabroco-Susapaya	100
4.6.4	Estación Santa Cruz	102
4.6.5	Estación Camilaca	103
4.6.6	Estación Borogueña-Ilabaya	105
4.6.7	Estación Alto Perú	106
4.6.8	Estación Vilavilani	108
4.6.9	Estación Caplina-Pachia	109
4.7	ANCHO DE BANDA REQUERIDO PARA ENLACE DE INTERNET	111
4.7.1	Ancho de banda para el UP-LINK	111
4.7.1.1	<u>Razón de bit transmitido</u>	111
4.7.1.2	<u>Ancho de banda del UP-LINK</u>	111
4.7.2	Ancho de banda para el DOWN-LINK	112
4.7.2.1	<u>Razón de bit recibido</u>	112
4.7.2.2	<u>Ancho de banda para el DOWN-LINK</u>	112
4.7.3	Ancho de banda total del enlace	112
4.8	ANALISIS DE RESULTADOS	113

4.8.1	Resumen de pérdidas por lluvia en cada estación VSAT	113
4.8.2	Resumen de $(C/No)_{UP}$ y $(C/No)_{down}$ para cada estación VSAT	114
4.8.2	Resumen de $(Eb/No)_{UP}$ y $(Eb/No)_{down}$ para cada estación VSAT	114
4.9	COMPARACIÓN DE VSAT CON OTRAS TECNOLOGÍAS	115
4.9.1	Económico	116
4.9.2	Fiabilidad	117
4.9.3	Mantenimiento	117
4.9.4	Cobertura	118
4.9.5	Vigencia de la tecnología	118
4.9.6	Evaluación final	119
	CONCLUSIONES	120
	RECOMENDACIONES	121
	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	122
	<u>ANEXO 1:</u>	
	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPAMIENTO VSAT	124
	<u>ANEXO 2:</u>	
	NOMOGRAMAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE ATENUACIÓN POR LLUVIA Y CUADRO RESUMEN DEL CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS POR LLUVIA	127

INTRODUCCIÓN

La articulación de las localidades rurales o remotas de las diferentes regiones al ámbito nacional de las telecomunicaciones, es una constante preocupación de todos los gobernantes para reducir los índices de pobreza en nuestro país.

La implementación de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica apunta hacia ese propósito, dado que ha propiciado extender la red de telecomunicaciones hasta las capitales de provincias, faltando la interconexión de la “última milla”, es decir interconectar las localidades remotas a la red nacional de telecomunicaciones.

Las redes de transmisión vía satélite VSAT compiten directamente con sistemas de transmisión digital terrestres como red conmutada de paquetes o redes de fibra óptica como solución a la problemática planteada.

La presente tesis tiene como objetivo brindar una alternativa de solución para dicha interconexión, para ello se desarrolló una metodología que permita determinar la factibilidad tecnológica de implementar una red de estaciones VSAT por satélite.

La tesis se estructuró en cuatro capítulos: el capítulo I se refiere a la metodología de investigación del análisis de la realidad problemática; el capítulo II presenta las bases teóricas necesarias para comprender la tecnología a emplear y las características climáticas de la zona de estudio; el capítulo III se refiere al dimensionamiento de la red de estaciones terminales VSAT, definiendo la topología de la red, el equipamiento a emplear y la selección de las estaciones remotas de la red a proponer; el capítulo IV se refiere al diseño de la red VSAT, donde se calculó los parámetros de la tecnología VSAT que son necesarios para determinar la factibilidad de implementar la red VSAT en la zona de estudio.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ANÁLISIS DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

1.1.1 Determinación del problema

La Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica (RDNFO) tiene como objetivo Implementar una red de fibra óptica con alcance a las capitales de provincia del país. La RDNFO se habilitará a través de 8 Nodos de la Red Core, 22 Nodos de Agregación, 180 Nodos de Distribución y 136 Nodos de Conexión o Acceso.

Los Nodos de Distribución de la RDNFO estarán ubicados en las capitales de provincia, deberán tener conexiones de bajada (downstream) directamente a los operadores locales de telecomunicaciones que proporcionan soluciones de última milla. Los operadores locales pueden consistir en proveedores de televisión por cable, proveedores de servicios de internet (ISPs por sus siglas en inglés), operadores de telecomunicaciones locales y otras entidades que proporcionan conexiones de última milla.

Una Red de Acceso deberá ser construida para extender las capacidades de los Nodos de Distribución hasta Nodos de Acceso en localidades remotas o capitales de distritos. Los Nodos de Acceso serán utilizados para conectarse con operadores locales de telecomunicaciones o con futuros sistemas de distribución inalámbricos a ser implementados en proyectos separados.

Las soluciones que permitan interconectar las localidades remotas o capitales de distritos a la RDNFO pasan por utilizar los sistemas de transmisión óptica, de Multiacceso Radial Digital (MAR) y los sistemas VSAT por satélite.

Un sistema VSAT (Very Small Aperture Terminal) es una red privada de comunicación de datos vía satélite. Es una microestación terrena con los últimos adelantos para que los usuarios tengan acceso a comunicaciones satelitales con_ables. Las VSAT brindan a los usuarios servicios comparables a las grandes estaciones de acceso y a las redes terrestres a una fracción del costo. VSAT fue inicialmente la marca de una estación terrena señalada por Telcom General de los Estados Unidos en 1980. Las redes de transmisión vía satélite VSAT

compiten directamente con sistemas de transmisión digital terrestres como red conmutada de paquetes o redes de fibra óptica.

La implementación de las redes telemáticas VSAT es rentable a medida que aumenta el número de nodos (terminales terrestres) de la red. Su uso es especialmente significativo en la interconexión de nodos con difícil acceso geográfico.

De acuerdo al Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), son catorce las localidades que cuentan con estaciones terrenas por satélite, implementadas con el Fondo de Inversiones en Telecomunicaciones (FITEL), utilizadas para recibir señal de televisión del Instituto de Radio y Televisión Peruana (IRTP) en las localidades remotas o rurales de la Región de Tacna.

En la actualidad ya se encuentran implementado los Nodos de Distribución en las capitales de las provincias de Tacna, Tarata, Candarave y Jorge Basadre en la Región Tacna. Además el Estado ha encargado al Fondo de Inversiones en Telecomunicaciones (FITEL) la implementación de Nodos de Acceso por Fibra Óptica en determinadas capitales de distritos, se hace necesario dotar el acceso a internet a las demás localidades rurales que cuentan con los servicios públicos de salud y educación con la RDNFO, por lo que se necesita analizar la factibilidad de implementar un sistema de la “Última Milla”

1.1.2 Delimitaciones del problema

1.1.2.1 Delimitación Espacial

El problema objeto de estudio se desarrollará en las zonas rurales de las provincias de Tacna, Tarata, Candarave y Jorge Basadre de la Región de Tacna.

1.1.2.2 Delimitación Temporal

Abarcará el periodo comprendido entre Noviembre 2016 hasta Enero 2017.

1.1.2.3 Delimitación Social

Abarcará a los pobladores que viven en las zonas rurales de las provincias de

Tacna, Tarata, Candarave y Jorge Basadre de la Región de Tacna, cuya selección de las localidades beneficiarias toma en cuenta los siguientes criterios de selección:

- Es una capital de distrito, o
 - Es un centro poblado con más de 300 habitantes, o
 - Tiene una población estudiantil mayor o igual a 100 alumnos, o
 - Tiene por lo menos un centro o puesto de salud, o
 - Tiene por lo menos una comisaría o gobierno local
-
- Cuenten con energía eléctrica permanente.

De esta manera, se descartan las localidades que no cumplan con las condiciones mínimas aun cuando cumplan con los criterios de selección.

1.1.2.4 Delimitación Conceptual

Conceptos asociados a:

- Acceso a Internet
- Comunicación por satélite digital
- Estaciones terminales y hub.
- Enlaces inbound y outbound

1.1.3 **Formulación del problema**

Del planteamiento del problema y del análisis de la realidad problemática, surgen las siguientes preguntas:

¿Cómo incide en la factibilidad técnica de implementar una Red de Acceso en las localidades remotas de la Región Tacna el uso de la tecnología VSAT por satélite?

¿La tecnología VSAT por satélite facilita la interconexión a la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica de las localidades remotas de la Región Tacna?

¿Cuán factible económicamente es implementar una red VSAT por satélite en de las localidades remotas de la Región Tacna?

¿Desde el punto de vista tecnológico, que ventajas y desventajas tiene implementar en de las localidades remotas de la Región Tacna, una Red de

Acceso VSAT frente a otras tecnologías de telecomunicaciones?

1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

1.2.1 Objetivo General

Desarrollar el Estudio de Factibilidad de una Red de Acceso VSAT por satélite, para interconectar las localidades remotas de la región de Tacna a la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica

1.2.2 Objetivos Específicos

- Efectuar el balance del enlace de subida y de bajada de la red VSAT.
- Comparar los sistemas VSAT con otras tecnologías que den solución a problemas similares.

1.3 DEFINICIÓN OPERACIONAL DE LAS VARIABLES

1.3.1 Estudio de Factibilidad de una Red VSAT

El estudio de factibilidad es un instrumento que sirve para orientar la toma de decisiones en la evaluación de una red VSAT.

1.3.2 Localidades remotas

Es la zona de estudio que comprende el ámbito rural de la Región Tacna.

1.3.3 Interconexión a la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica

Posibilita enlazar las localidades remotas de la Región Tacna al sistema de telecomunicaciones del Perú basado en el uso de la fibra óptica.

1.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

1.4.1 Variable Independiente

Estudio de Factibilidad de una Red VSAT

DIMENSIÓN: **Cuantificación del nivel de confiabilidad**

INDICADORES: $(C/No)_{dB}$

$(Eb/No)_{dB}$

Ancho banda total del enlace

1.4.2 Variable Dependiente

Interconexión a la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica

DIMENSIÓN: **Características tecnológicas**

INDICADORES: Fiabilidad
 Cobertura
 Mantenimiento

1.5 SISTEMA DE HIPÓTESIS

1.5.1 Hipótesis General

“Si al desarrollar una metodología que determine los principales parámetros de una red VSAT por satélite, entonces se podrá determinar la factibilidad de interconectar las localidades remotas de la Región Tacna con la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica.

1.5.2 Hipótesis específicas

- Si al calcular los valores de la relación (C/No), (Eb/No) y el ancho de banda total del enlace, se podrá determinar la factibilidad de implementar una estación terminal VSAT en las localidades remotas de la Región Tacna.
- Si al comparar el empleo de la tecnología VSAT en las localidades remotas de la Región Tacna con las tecnologías de Fibra Óptica y radioenlaces digitales de microondas, se podrá determinar la factibilidad de implementar dicha tecnología de modo confiable.

1.6 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Las redes de transmisión vía satélite VSAT compiten directamente con sistemas de transmisión digital terrestres como red conmutada de paquetes o redes de fibra óptica.

La implementación de las redes telemáticas VSAT es rentable a medida que aumenta el número de nodos (terminales terrestres) de la red. Su uso es especialmente significativo en la interconexión de nodos con difícil acceso geográfico.

En el siguiente trabajo se realiza un estudio de factibilidad de un sistema VSAT para la transmisión de datos enfocado a la zona rural de la Región Tacna, con el propósito de determinar hasta que punto es posible la realización de una red VSAT en un lugar con las características geográficas y

topográficas semejantes a las propuestas.

Este proyecto comienza con un estudio de los sistemas VSAT por medio de consultas bibliográficas, y la asesoría con expertos en la materia. Luego de reunir la información necesaria, se establecen los parámetros de diseño que le darán forma a la solución del problema; a medida que se realizan los cálculos se obtienen resultados que son comparados con las otras tecnologías existentes que tienen más tradición en la transmisión de información en zonas similares.

1.7 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Por medio del diseño de la investigación se obtendrá toda la información necesaria y requerida para aceptar o rechazar la hipótesis.

Esta investigación a desarrollar **es de tipo experimental**, porque se manipula una o varias variables independientes, ejerciendo el máximo control. Su metodología es generalmente cuantitativa.

Este tipo de investigación presenta las siguientes etapas:

- Presencia de un problema para el cual sea realizada una revisión bibliográfica.
- Identificación y definición del problema.
- Definición de hipótesis y variables y la operacionalización de las mismas.
- Diseño del plan experimental.
- Prueba de confiabilidad de los datos.
- Simulación del experimento.
- Tratamiento de datos.

1.8 PROCEDIMIENTOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

1.8.1 Procedimientos

Se refiere a la forma como el investigador recopila la información requerida en la investigación. Pueden ser:

- Personal
- Agentes especiales
- Indirectos

El procedimiento seguido en la tesis es la recopilación de datos de **modo personal**.

Fuentes de Información: Son todos aquellos medios de los cuales procede la información, que satisfacen las necesidades de conocimiento de una situación o problema presentado, que posteriormente será utilizado para lograr los objetivos esperados. De acuerdo a su origen se clasifican en:

- Fuentes primarias.
- Fuentes secundarias.

La investigación **utilizará fuentes primarias a través de la determinación de los parámetros de la red VSAT y de las pérdidas de precipitaciones pulviales en cada localidad remota de la Región Tacna seleccionada.**

La investigación **utilizará fuentes secundarias para determinar los coeficientes de atenuación por lluvia en cada localidad remota de la Región Tacna, a través de los datos históricos obtenidos con el sistema de información en línea climate-data, así como de las imágenes existentes suministrados por el software GOOGLE EARTH de las localidades remotas de la Región Tacna seleccionadas.**

1.8.2 Instrumentos

Los instrumentos a utilizar serán:

- Base de datos
- Páginas web
- Imágenes satelitales
- Software de simulación

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 SISTEMAS DE COMUNICACION POR SATELITE

2.1.1 Satélites artificiales

El satélite es un elemento físico capaz de recibir y transmitir señales en forma analógica o digital, que está colocado en determinadas trayectorias (órbitas) con la finalidad de recibir y transmitir información a cualquier punto de la Tierra. Un satélite tiene la capacidad de recibir y transmitir datos, audio y video en forma analógica o digital de alta calidad y en forma inmediata.

En la actualidad se pueden clasificar los satélites artificiales como: de comunicaciones, navegación, militares, meteorológicos, de estudio de recursos terrestres y científicos.

Bava y Sanz, (1989) afirman:

Es importante destacar que los satélites deben iluminar, con la mayor eficiencia posible, los sectores de la tierra de interés. Es por eso que sus antenas tienen cuatro tipos de haces de irradiación según su uso.

a) Haz global: permite al satélite iluminar una tercera parte del globo terráqueo, lo que significa que con tres satélites queda comunicada toda la Tierra.

b) Haz hemisférico: concentra su potencia sobre una amplia región intentando cubrir por ejemplo toda América o África.

c) Haz regional: permite iluminar un país o varios países.

d) Haz spot: o local, concentra su potencia sobre una restringida zona de cobertura.

Los satélites de comunicaciones utilizan en general los siguientes tipos de polarización para la recepción/transmisión de las ondas electromagnéticas:

Circular: izquierda / derecha.

Lineal: vertical / horizontal. (p.171)

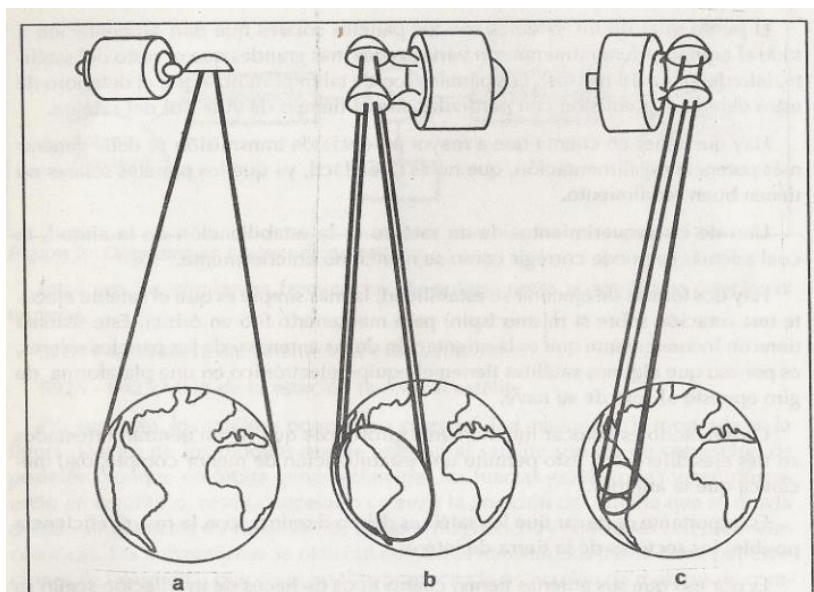


FIGURA 1: Haces de irradiación de los satélites
 (fuente: Bava y Sanza, 1999, p.172)

Rosado (2000) afirma:

Un satélite puede dividirse en dos partes fundamentales para su operación: el conjunto de equipos y antenas que procesan las señales de comunicación de los usuarios como función substancial, denominado carga útil o de comunicaciones, y la estructura de soporte, con otros elementos de apoyo a la mencionada función, denominada plataforma. Existe una interacción precisa entre ambas partes que debe preservarse y controlarse en todo momento. (p.9)

2.1.2 Modelos de enlace del sistema satelital

Esencialmente, un sistema satelital consiste de tres elementos básicos: un modelo de subida, un transponder satelital y un modelo de bajada.

Modelo de subida

El principal componente dentro de la sección de subida, de un sistema satelital, es el transmisor de la estación terrena. Un típico transmisor de la estación terrena consiste de un modulador de IF, un convertidor de microondas de IF a RF, un amplificador de alta potencia (HPA) y algún medio para limitar la banda del espectro de salida (por ejemplo un filtro pasa-banda de salida) (Redes satelitales, 2005)..

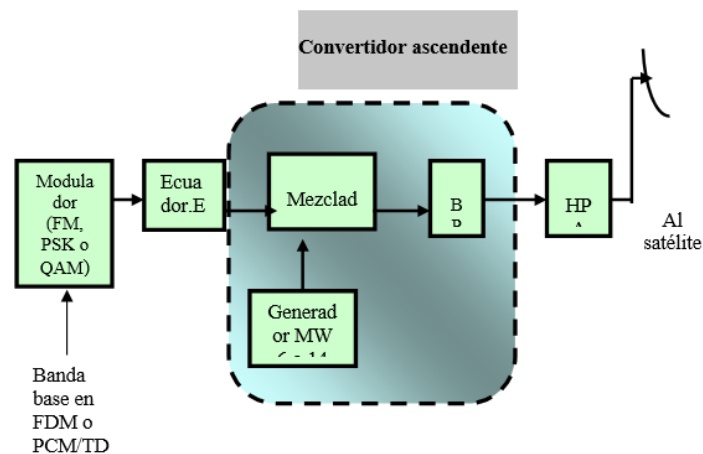


FIGURA 2: MODELO DE SUBIDA DEL SATÉLITE.

(fuente: www.monografias.com/trabajos29/redes-satelitales)

Transponder

Un típico transponder satelital consta de un dispositivo para limitar la banda de entrada (BPF), un amplificador de bajo ruido de entrada (LNA), un traslator de frecuencia, un amplificador de potencia de bajo nivel y un filtro pasa-bandas de salida.

La Figura 3 muestra un diagrama a bloques simplificado de un transponder satelital. Este transponder es un repetidor de RF a RF. Otras configuraciones de transponder son los repetidores de IF, y de banda base, semejantes a los utilizados en los repetidores de microondas. (Redes satelitales, 2005)..

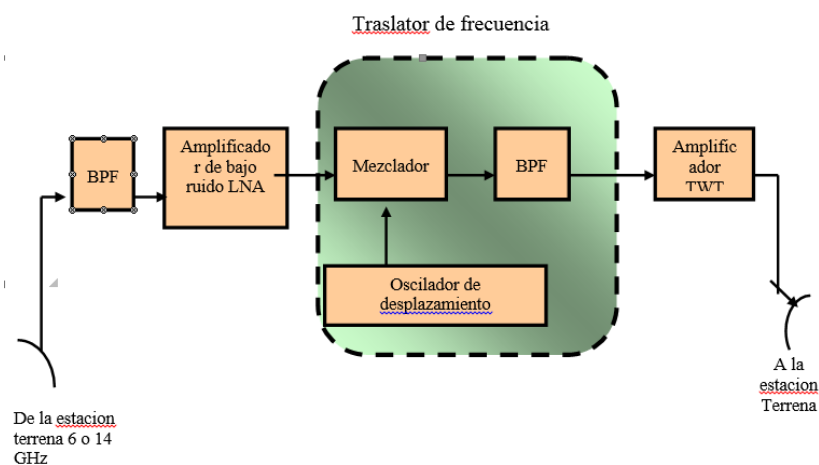


FIGURA 3: TRANSPONDER DEL SATÉLITE.

(fuente: www.monografias.com/trabajos29/redes-satelitales)

Modelo de bajada

Un receptor de estación terrena incluye un BPF de entrada, un LNA y un convertidor de RF a IF. La Figura 4 muestra un diagrama a bloques de un receptor de estación terrena típico. Nuevamente el BPF limita la potencia del ruido de entrada al LNA. El LNA es un dispositivo altamente sensible, con poco ruido, tal como un amplificador de diodo túnel o un amplificador paramétrico. El convertidor de RF a IF es una combinación de filtro mezclador/pasa-bandas que convierte la señal de RF a una frecuencia de IF.

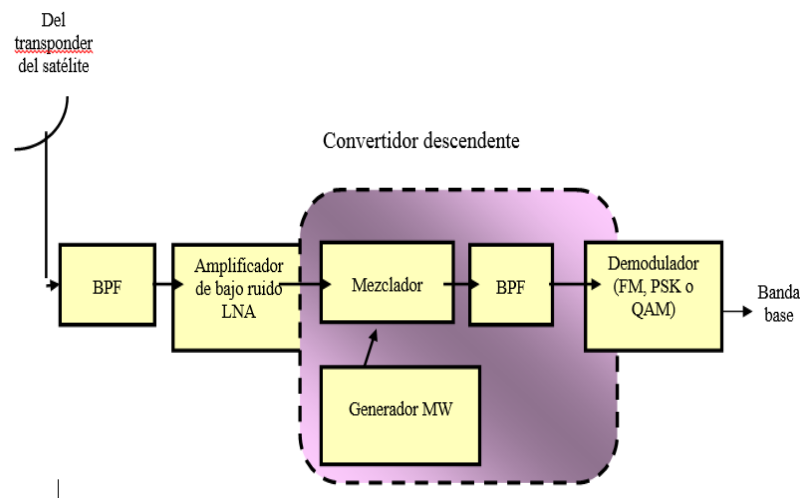


FIGURA 4: MODELO DE BAJADA DEL SATÉLITE.

(fuente: www.monografias.com/trabajos29/redes-satelitales)

2.1.3 Estructura de un sistema satelital

En la siguiente figura se puede observar la estructura de un sistema de comunicación por satélite.

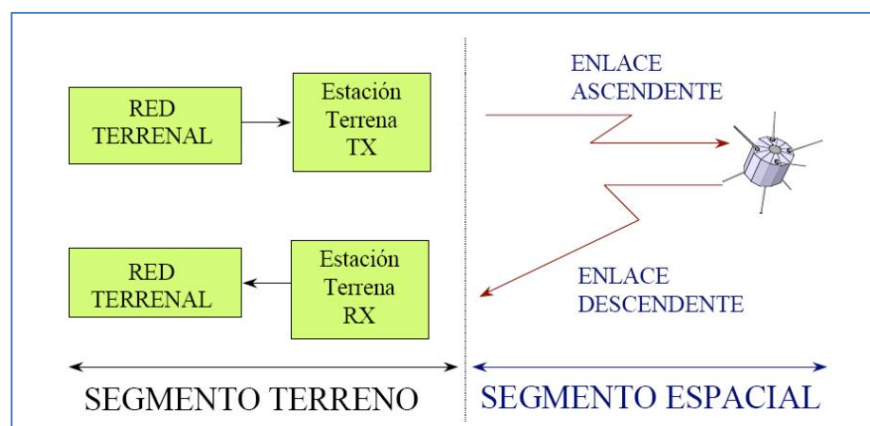


FIGURA 5: ESTRUCTURA DE UN SISTEMA SATELITAL

(fuente: Hernández, 2000, p.27)

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

1. **El segmento espacial:** Está compuesto por el satélite de comunicaciones, el enlace de subida o up link, y el enlace de bajada o down link.
2. **El sistema de control:** Al que también se le llama TT&C (Telemedición, Tele-mando y Control), realiza desde la Tierra el control del satélite.
3. **El segmento terreno:** Está compuesto por la estación terrena y las redes terrenales.

2.1.4 Satélites geoestacionarios

Se denominado satélite geoestacionario, aquel que gira alrededor de la Tierra a la misma velocidad de rotación, que se encuentra ubicado sobre la línea ecuatorial de la Tierra.

Rosado (2000) afirma:

La órbita ecuatorial llamada geoestacionaria representa un círculo virtual a cerca de 36 000 kilómetros sobre la superficie terrestre, en el cual es posible ubicar satélites que giren en sincronía con la rotación de la Tierra. Debido a que existen perturbaciones que tienden a desplazar lentamente a los satélites de sus posiciones fijas en dicha órbita, para lograr que permanezcan en ellas se emplean fuerzas de corrección de pequeña magnitud, aplicadas en determinados intervalos de tiempo.

La principal ventaja de que un satélite ocupe una posición fija en la órbita geoestacionaria consiste en que dentro de su zona de cobertura pueda comunicarse con estaciones terrenas de apuntamiento fijo, las cuales cuentan con haces muy concentrados, para aumentar extraordinariamente tanto la potencia recibida de las señales del satélite, como la que es posible enviar en dirección del mismo. Se puede entonces utilizar un mínimo de energía radiada para una alta calidad de la comunicación, gracias a su concentración, principalmente dentro de un ángulo de 1° de arco, o menor. Esta característica es de gran importancia para los denominados servicios fijos por satélite.(p.3)

Parámetros típicos de la órbita geoestacionaria

Los parámetros se han resumido en la siguiente Tabla 1:

TABLA 01
PARAMETROS DE LA ORBITA GEOESTACIONARIA

Parámetros de la órbita geoestacionaria	
Radio medio de la Tierra.	6370 km.
Periodo de rotación (Tierra y satélite).	23h 56min 4.1seg
Radio de la órbita geoestacionaria.	42173 km
Altura del satélite sobre la Tierra.	35803 km
Velocidad del satélite.	3.075 km/seg.

Coordenadas cartográficas

Para determinar la posición cartográfica de una estación terrena sobre la superficie de la Tierra, deberemos estar en condiciones de localizar dicho posición mediante algún método. Este método de localización consiste en trazar líneas verticales y horizontales, conformando un cuadrículado sobre la superficie de la Tierra. Las líneas verticales se denominan Longitud y las líneas horizontales se denominan Latitud.

Angulo, Hernandez y Moreno (2005) afirman:

Las líneas de Longitud se extienden desde el Polo Norte al Polo Sur, es decir que son círculos iguales al contorno de la Tierra que se interceptan en los polos. Se ha definido por convención, como primer meridiano o Longitud cero grados, al meridiano que pasa por la ciudad de Greenwich, tomando el nombre de dicha ciudad. En total son 360 líneas, lo que equivale a 18 círculos completos. De esta manera se componen los 360° grados de Longitud, partiendo desde la línea de Longitud 0° hacia el Este.

Las líneas de Latitud están conformadas por 180 círculos paralelos y horizontales, siendo el círculo mayor el ubicado en la línea del Ecuador denominada Latitud cero grados.

De esta forma existen 90° hacia el hemisferio Norte, denominados Latitud Positiva y 90° hacia el hemisferio Sur, denominados Latitud Negativa. Por lo tanto mediante la intersección de las coordenadas de

Latitud y Longitud podremos localizar un punto que este sobre la superficie de la Tierra. Ver Figura 6

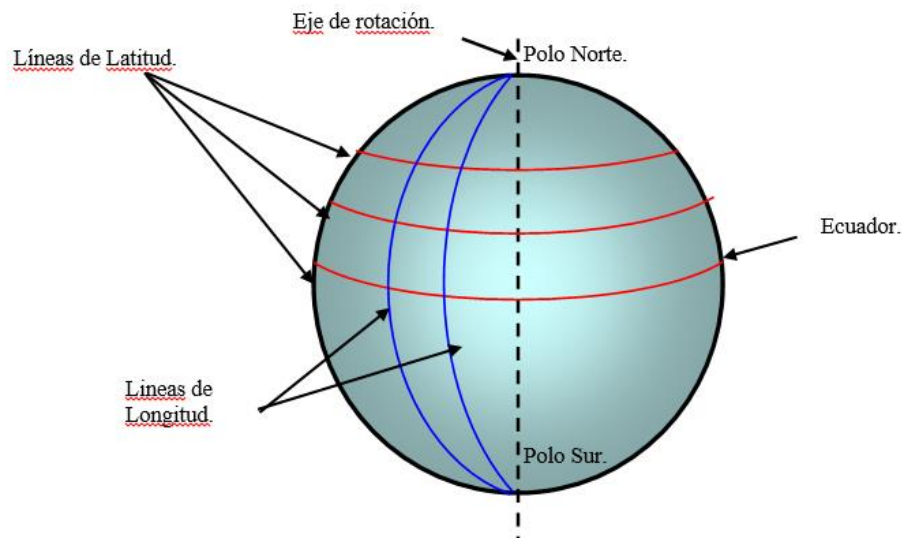


FIGURA 6: LÍNEAS DE LATITUD Y LONGITUD
(fuente www.monografias.com/trabajos29/redes-satelitales)

2.1.5 Bandas y frecuencias asignadas

La capacidad de tráfico de un satélite está limitada por dos factores: ancho de banda y potencia de los amplificadores. En cuanto al ancho de banda, la ITU ha asignado a las comunicaciones satelitales las bandas VHF (30 – 300 MHz), UHF (0,3 – 3 GHz) y SHF (3 - 30 GHz). A su vez, estas bandas han sido subdivididas en sub-bandas, también llamadas bandas. Por ejemplo, UHF tiene las bandas L y S, mientras que SHF contiene a las bandas C, X, Ku y Ka. Los 3 tipos de servicio que la ITU ha definido, son:

1. FSS (Fixed Satellite Service) o servicio fijo por satélite. Se aplica a todo servicio de comunicaciones que no sea móvil ni de radiodifusión.

2. MSS (Mobile Satellite Service) o servicio móvil por satélite. Se refiere a toda comunicación entre 2 puntos, donde uno o ambos pueden ser móviles.

3. BSS (Broadcast Satellite Service) o servicio de radiodifusión por satélite. Son señales transmitidas directamente a los hogares (también llamado DBS, Direct Broadcast Service, o DTH, Direct To Home).

Cada servicio tiene sus propias bandas de frecuencia asignadas y los límites inferior y superior de cada una de ellas pueden variar dependiendo de la región. En la tabla siguiente se resumen las bandas más usadas:

TABLA 02
BANDAS DE FRECUENCIAS EMPLEADAS EN BSS

Banda	Enlace ascendente (GHz)	Enlace descendente (GHz)	Servicio
C: 6/4 GHz	5,925 – 6,425 (500 MHz)	3,700 – 4,200 (500 MHz)	FSS
X: 8/7 GHz	7,900 – 8,400 (500 MHz)	7,250 – 7,750 (500 MHz)	Comunicaciones militares
Ku: 14/12 GHz	14,0 – 14,5 (500 MHz)	11,7 – 12,2 (500 MHz)	FSS
Ku: 17/12 GHz	17,3 – 17,8 (500 MHz)	12,2 – 12,7 (500 MHz)	BSS
Ka: 30/20 GHz	27,5 – 31,0 (3.500 MHz)	17,7 – 21,2 (3.500 MHz)	FSS

2.1.6 Orientación de una antena de una estación terrena

Vamos a ver ahora cómo se calcula la orientación de una antena de una estación terrena hacia el satélite geo-estacionario con el que debe comunicarse.

Nava y Sanz (1989) afirman:

Uno de los puntos de importancia es también el posicionamiento y la rigidez del sistema, el cual pueden producir errores que desmejoraran la calidad de la recepción. El montaje de estas antenas es AZ-EL (azimut-elevación) y la ubicación del Satélite se realiza conociendo la posición de elevación (EL) y azimut (AZ). Los ángulos por lo tanto quedan definidos entre el plano del horizonte local y el rayo directo al satélite. Una vez captado en el receptor se pueden hacer ajustes finos para mejorar la señal.

Angulo de elevación

Es el ángulo formado entre la dirección de viaje de una onda radiada

desde una antena de estación terrena y la horizontal, o el ángulo de la antena de la estación terrena entre el satélite y la horizontal. Ver Figura 7.

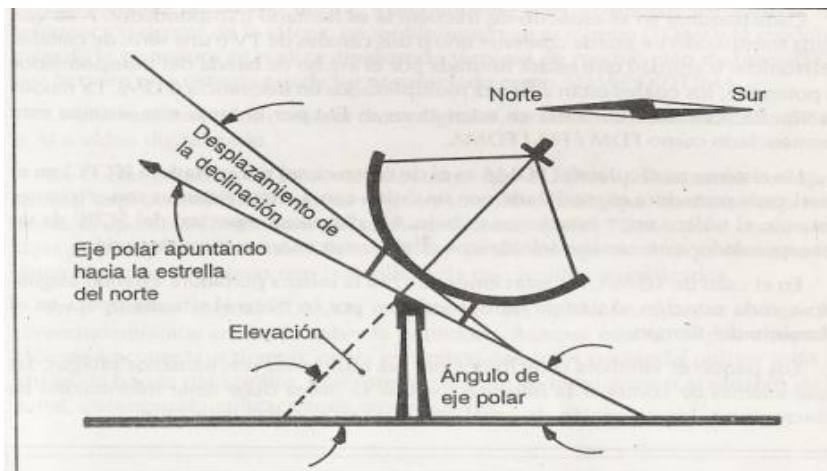


FIGURA 7: DEFINICIÓN DE ÁNGULO DE ELEVACIÓN.

(Bava y Sanz, 1999, p.179)

Entre más pequeño sea el ángulo de elevación, mayor será la distancia que una onda propagada debe pasar por la atmósfera de la Tierra. Como cualquier onda propagada a través de la atmósfera de la Tierra, sufre absorción y, también, puede contaminarse severamente por el ruido.

De esta forma, si el ángulo de elevación es demasiado pequeño y la distancia de la onda que está dentro de la atmósfera de la Tierra es demasiado larga, la onda puede deteriorarse hasta el grado que proporcione una transmisión inadecuada. Generalmente, 5° es considerado como el mínimo ángulo de elevación aceptable.

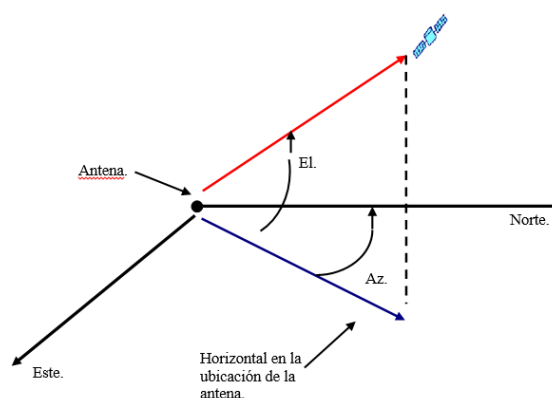


FIGURA 8: ANGULOS DE VISTA (AZIMUT Y ÁNGULO DE ELEVACIÓN)

(Nava y Sanz, 1989, p.177)

Azimut

Azimut se define como el ángulo de apuntamiento horizontal de una antena. Se toma como referencia el Norte como cero grados, y si continuamos girando en el sentido de las agujas del reloj, hacia el Este, llegaremos a los 90° de Azimut. Hacia el Sur tendremos los 180° de Azimut, hacia el Oeste los 270° y por último llegaremos al punto inicial donde los 360° coinciden con los 0° del Norte.

El ángulo de elevación y el azimut, dependen ambos, de la latitud de la estación terrena, así como del satélite en órbita. Ver Figura 8.

Para un satélite geo-síncrono, en una órbita ecuatorial, el procedimiento es el siguiente: de un buen mapa se determina la latitud y longitud de la estación terrestre, luego conociendo la longitud del satélite en interés, se calcula la diferencia (ΔL), entre la longitud del satélite y la longitud de la estación terrena. Entonces, utilizando el ábaco de la Figura 9 determinamos el azimut y ángulo de elevación para la antena (ingresando al gráfico con la diferencia ΔL , y con la latitud de la estación terrena).

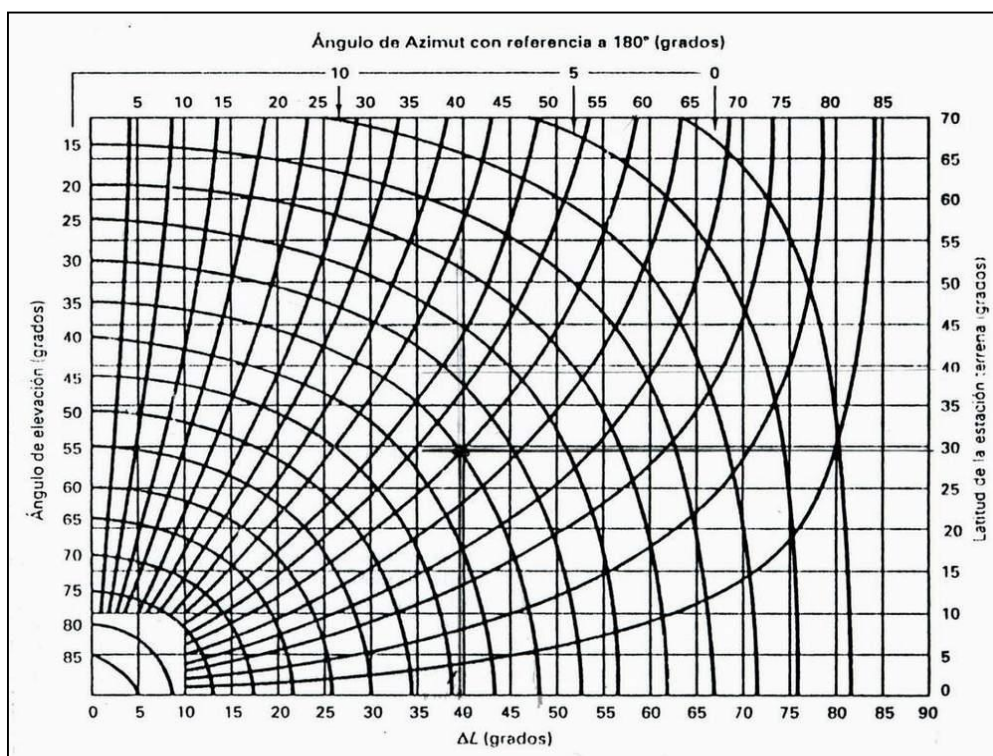


FIGURA 9: ABACO PARA DETERMINAR PARÁMETROS DE E.T.
(fuente: Manual sobre telecomunicaciones por satélite-CCIR)

2.1.7 Atenuación por lluvia

Cuando llueve sobre la zona donde está instalada una estación terrena, las señales portadoras son atenuadas conforme se propagan a través de la región del aire en donde esté lloviendo. La distancia total d que las señales viajan a través de la lluvia depende de la altura de las nubes con relación al piso y del ángulo de elevación θ de la antena de la estación terrena.

Actualmente se puede saber con bastante precisión qué tanto se atenúa una señal por efecto de la lluvia, en función de la frecuencia de la señal y de la intensidad de la lluvia medida en milímetros sobre hora (mm/h). Las gotas de lluvia absorben energía al ser calentadas por las señales de microondas, y conforme la longitud de onda se hace comparable con el tamaño de las gotas el efecto es más severo, causando mayor atenuación en la banda Ka ($\lambda = 1$ cm) que en la banda Ku ($\lambda = 2$ cm) o en la C ($\lambda = 5$ cm).

Como la lluvia no es permanente, para el diseño del enlace satelital resulta de interés el porcentaje de tiempo total en el que cierto valor especificado de mm/h es excedido (normalmente se toma como tiempo de referencia 1 año). Por ejemplo, decir que un cálculo de enlace ha sido diseñado considerando una intensidad o tasa de lluvia de 0,01%, significa que cuando llueva, la intensidad será mayor que la tomada como referencia en esa zona durante 0,01% del año, o sea, durante 53 minutos. Estos minutos son acumulados, por ejemplo, 2 minutos un día, 3 minutos otro día, etc., hasta acumular 53 minutos en un año. Este dato permite saber cómo sobredimensionar el sistema para cumplir con un cierto grado de servicio.

2.2 LOS SISTEMAS VSAT

2.2.1 Introducción

Los sistemas VSAT (Terminal de Apertura Muy Pequeña) son redes de comunicación por satélite que permiten establecer enlaces entre un gran número de estaciones remotas con antenas de pequeño tamaño (menores de 2.5 metros de diámetro, típicamente de 1.3), de ahí el nombre, con una estación central conocida normalmente como Hub. La comunicación suele darse siempre en el mismo sentido, desde el Hub hacia los terminales VSAT, aunque también existe la posibilidad de hacerse en sentido contrario. Las bandas de frecuencia más utilizadas son las bandas C, Ku y Ka, que son más susceptibles a las condiciones meteorológicas cuanto mayor es la frecuencia y la portadora. En la Figura 10 se puede ver el esquema de funcionamiento:

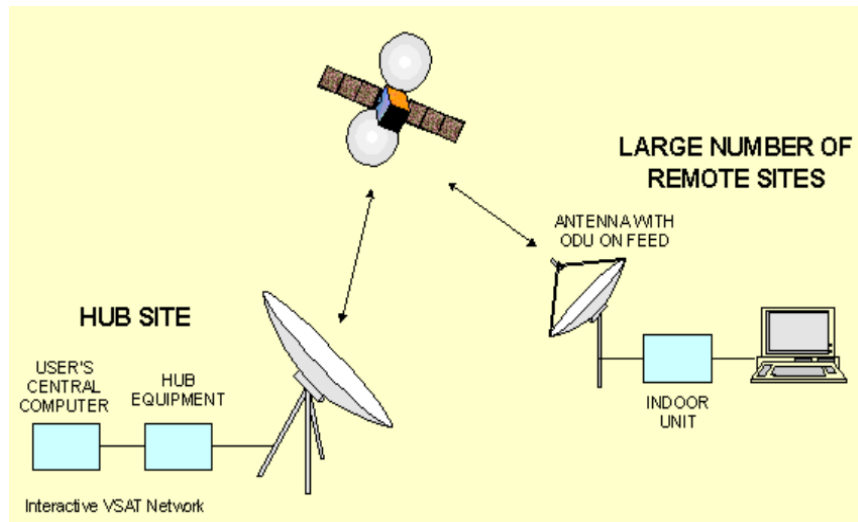


FIGURA 10: SISTEMA VSAT

(fuente: http://materias.fi.uba.ar/6679/apuntes/Redes_Satelitales_v2.pdf)

El segmento espacial lo constituye el satélite. La gran mayoría de sistemas VSAT utilizan satélites geostacionarios (a unos 36000 Km de altitud).

El Hub y los terminales VSAT forman el segmento terreno. El Hub es la estación central de una red VSAT y tan solo es una estación más dentro de la red pero más grande, de hecho la antena es del orden de 15 metros de diámetro y maneja valores mayores de potencia de transmisión.

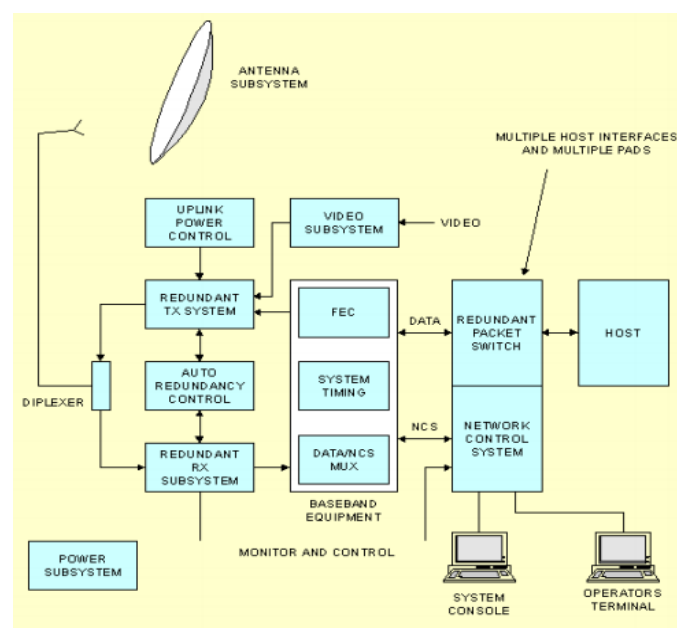


FIGURA 11: ESTACIÓN HUB

(fuente: http://materias.fi.uba.ar/6679/apuntes/Redes_Satelitales_v2.pdf)

Los terminales VSAT son mucho más sencillos y para su configuración hay que tener en cuenta la cantidad de tráfico que va a generar y el tipo de red al que va a pertenecer. Uno de los puntos clave es el apuntamiento de la antena hacia el satélite. Se hace en base a los ángulos de elevación y azimut (que se verán más adelante) y una vez el apuntamiento es correcto, este se refina para que la potencia recibida sea la mayor posible.

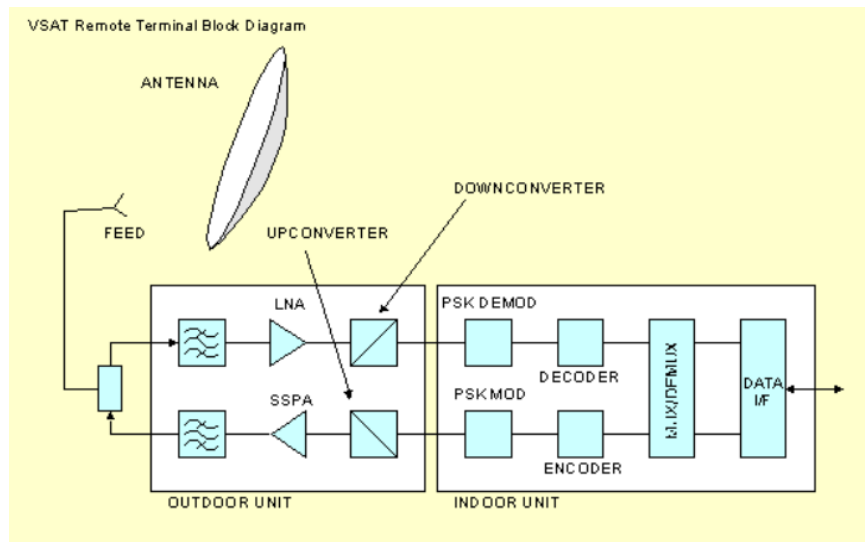


FIGURA 12: ESTACIÓN REMOTA

(fuente: http://materias.fi.uba.ar/6679/apuntes/Redes_Satelitales_v2.pdf)

Las ventajas que presentan las redes VSAT frente a otras son las siguientes:

- Fácil adaptabilidad a las necesidades de cada usuario.
- Facilidad de reconfiguración y ampliación. Si se añadiera o moviese un terminal VSAT lo único que habría que hacer es orientar la antena hacia el satélite.
- Gran fiabilidad, pues se suelen diseñar para tener una disponibilidad en torno al 99% del tiempo y con una BER muy baja.
- Bajo costo. Esto tiene matices, pues el precio en comunicaciones nunca es bajo y de hecho la inversión inicial es muy elevada, pero se debe tener en cuenta que algunos de los servicios que se ofrecen son los de dar cobertura a zonas en las que resulta imposible o muy poco rentable cablear (tales como montañas o barcos).

Las principales desventajas de este tipo de redes vienen de la mano del hecho de que suelen utilizar satélites geoestacionarios. Por un lado, hay

un retardo en la señal de medio segundo que resulta muy problemático para algunas aplicaciones. No hay solución para ello. Por otro lado, al usar un satélite GEO como repetidor, cualquier usuario no autorizado puede interceptar la señal. Una posible solución es encriptar la información.

Las aplicaciones de las redes VSAT son muchas y se clasifican en dos: las de enlace unidireccional y las de enlace bidireccional. Algunas del primer tipo son la educación a distancia, difusión de noticias o publicidad. La videoconferencia de baja calidad, la televisión corporativa o transacciones bancarias son algunas de las aplicaciones que requieren un enlace bidireccional.

2.2.2 Topologías de red VSAT

Hay dos tipos de configuraciones de redes VSAT: VSAT en malla y VSAT en estrella.

- **Malla:** todos los terminales VSAT deben poder establecer conexión con otro terminal a través del satélite. Mediante estudio se llegó a la conclusión de que la mejor técnica de acceso era FDMA bajo demanda, que es la que utilizan las redes comerciales en malla.

En la siguiente figura se puede ver cómo es una red VSAT en la topología malla:

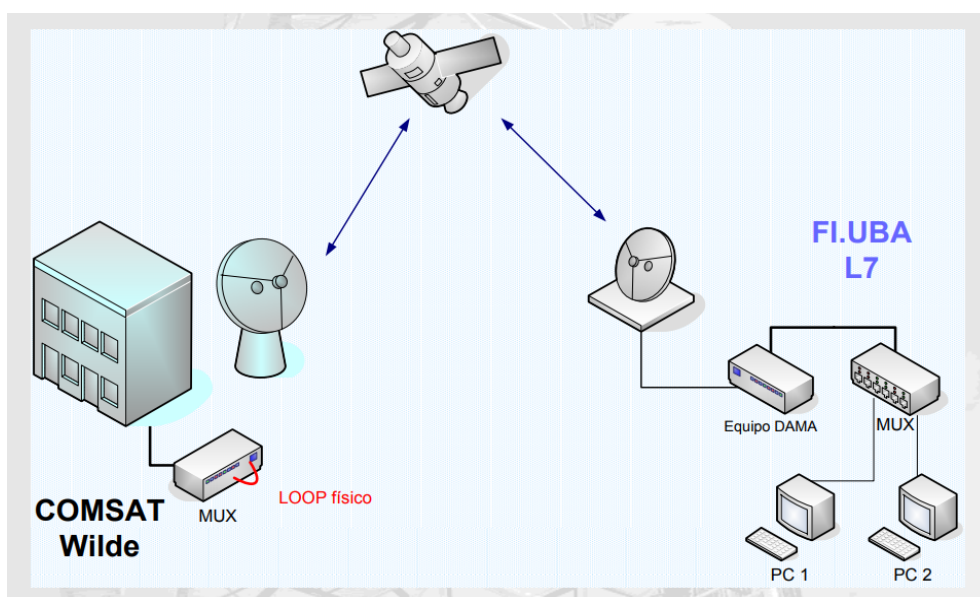


FIGURA 13: RED VSAT EN MALLA

(fuente: http://materias.fi.uba.ar/6679/apuntes/Redes_Satelitales_v2.pdf)

- **Estrella:** Estas redes están compuestas por un número determinado de VSAT's y un hub. En ellas, los terminales tan solo se pueden conectar con el nodo central (el hub), que gestiona todos los canales. Esta topología se puede dar tanto en redes bidireccionales como unidireccionales. En ellas, el ancho de banda se divide en dos tipos de enlace:
 - *Inbound:* son los enlaces desde los terminales hacia el hub. En cuanto a las técnicas de acceso, la solución más habitual es la utilización de FDMA y TDMA.
 - *Outbound:* enlaces desde el hub hacia los terminales VSAT. Las técnicas de acceso podrían ser FDMA, ya que el hub multiplexa en frecuencia y TDM.

En la Figura 14 se puede ver una topología en estrella de una red VSAT por satélite.

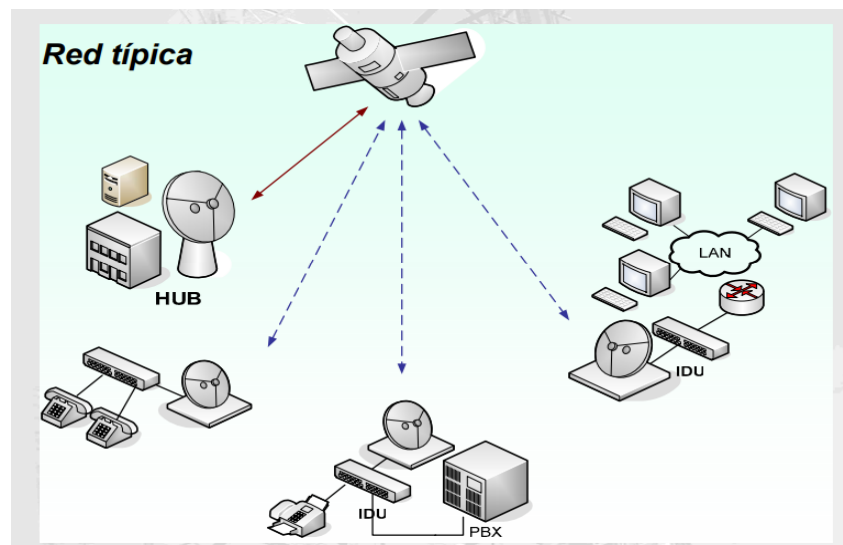


FIGURA14: RED VSAT EN ESTRELLA

(fuente: http://materias.fi.uba.ar/6679/apuntes/Redes_Satelitales_v2.pdf)

2.2.3 Formulación para el cálculo del balance de enlace en un sistema VSAT

Para hacer cálculos de un sistema VSAT es imprescindible diferenciar entre enlace *inbound* y enlace *outbound*. Como se ha explicado en el apartado anterior, el enlace *inbound* es el que va desde el hub hacia los terminales VSAT pasando por el satélite y el *outbound* desde los terminales VSAT hacia el satélite y de ahí al hub. Y además, hay que distinguir entre enlace de subida

y enlace de bajada. De este modo tendremos cuatro tipos de enlace:

- Enlace *Inbound de subida*. VSAT → satélite
- Enlace *Inbound de bajada*. Satélite → Hub
- Enlace *Outbound de subida*. Hub → satélite
- Enlace *Outbound de bajada*. Satélite → VSAT

En la siguiente Figura, se puede diferenciar un enlace de otro:

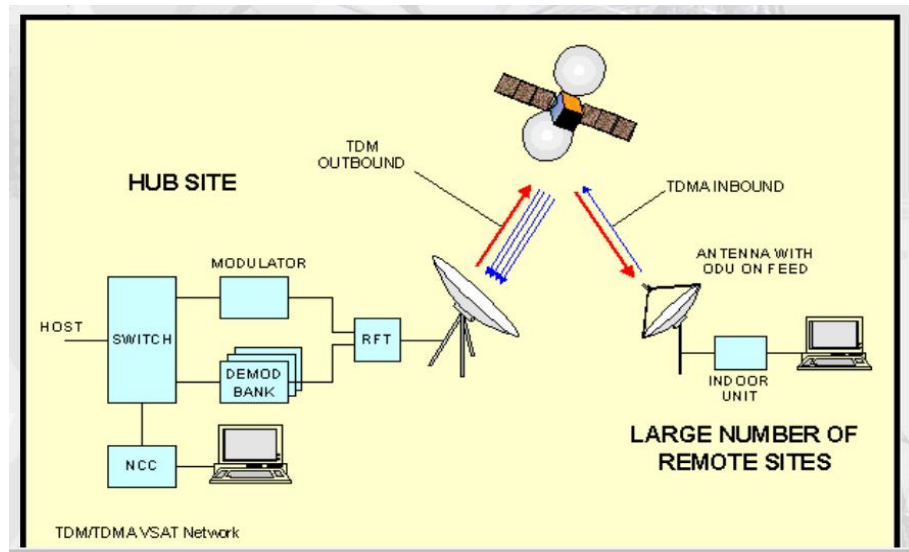


FIGURA 15: ENLACES INBOUND Y OUTBOUND

(fuente: http://materias.fi.uba.ar/6679/apuntes/Redes_Satelitales_v2.pdf)

Esta distinción es tan importante porque habrá que realizar cálculos para cada uno de ellos y además tendrán parámetros distintos.

También, por supuesto, resulta imprescindible distinguir entre VSAT, hub y satélite. Estos tres elementos y estos cuatro tipos de enlace serán los puntos clave para realizar los cálculos.

Para cada elemento habrá diferentes datos. Los datos que se pueden tener para el satélite, hub o terminal VSAT son los siguientes:

- Potencia de transmisión
- Ganancia de transmisión
- Pérdidas en transmisión
- Ancho de banda del transpondedor
- PIRE

- Ganancia en recepción
- Pérdidas en recepción
- Temperatura de ruido de la antena
- Diámetro de la antena
- Eficiencia de radiación de la antena
- Pérdidas de propagación
- IBO (Input Back-Off). Sólo para el satélite
- OBO (Output Back-Off). Sólo para el satélite
- Coordenadas (latitud y longitud)
- Altitud del satélite

2.3 TIPOS DE ACTIVIDAD ATMOSFERICA

2.3.1 Los hidrometeoros

La Recomendación ITU-R I.719-2 señala lo siguiente:

Los hidrometeoros (lluvia, niebla, nieve y granizo), gases y partículas sólidas (polvo y arena) producen una atenuación que puede considerarse plana dentro de la banda de microondas del canal transmitido. Por otro lado, se produce una despolarización de la onda. El vapor de agua y el oxígeno producen absorción de las ondas milimétricas. La concentración de oxígeno es relativamente constante mientras que la del vapor de agua no lo es, aumentando hasta la saturación en las nubes y lluvia. El efecto puede observarse sólo por encima de los 15 GHz. En la Figura 12 se muestra la variación de la atenuación específica σ_r expresada en dB/km en función de la frecuencia (ITU-R I.719-2).

El vapor **de agua** tiene un pico de absorción en 22,3 GHz y el **oxígeno** en 50 GHz. La **niebla y nubes** consisten en partículas de agua líquida suspendidas en el aire. Las gotas de las nubes tienen diámetros modales mayores a la niebla. Hay 2 tipos de niebla: la producida por advención en regiones costeras y la producida por radiación en regiones interiores.

La Recomendación ITU-R I.721-2 señala lo siguiente:

La niebla puede producir atenuaciones importantes sólo por encima de los 100 GHz. En la práctica a 140 GHz se han medido atenuaciones de 0,4 y 4 dB/km para nieblas de 0,05 y 0,5 gr/m³ que corresponde a una visibilidad de 300 y 50 m, respectivamente (ITU-R I.721-2).

En 10 GHz el efecto es despreciable, del orden de 0,00035 dB/km para 0,005 gr/m³.

En el caso de la **nieve** la atenuación es reducida debajo de los 30 GHz. Un índice de lluvia en forma de nieve de 10 mm/h produce una atenuación específica de 3 dB/km a 30 GHz.

El **granizo** en cambio tiene gran influencia a partir de los 2 GHz, pero la probabilidad de ocurrencia es despreciable. En general, la acumulación de nieve y hielo en las antenas tiene más importancia que la presencia de nieve en el trayecto.

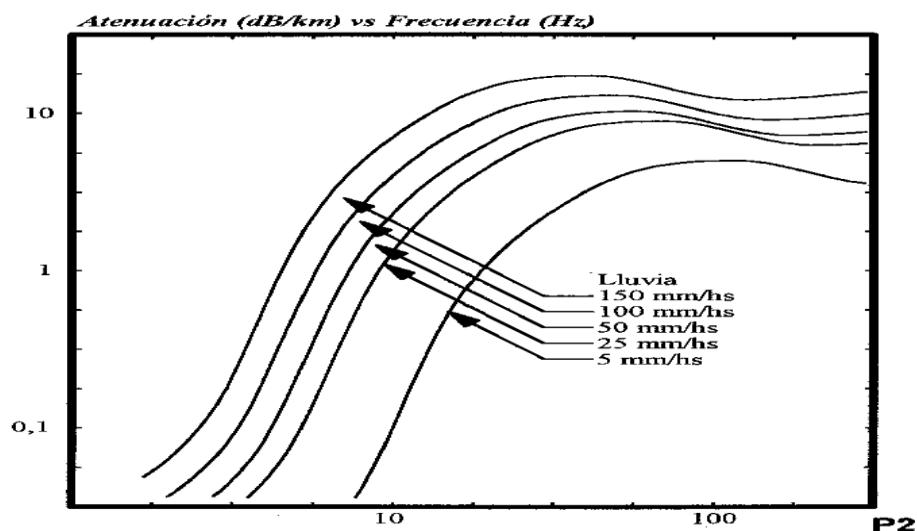


FIGURA 16: EFECTO DE LA LLUVIA SOBRE LAS SEÑALES RADIOELÉCTRICAS
(fuente: (ITU-Recomendación I.719-2))

El principal hidrometeoro es la lluvia y la Figura 12 muestra la atenuación $\bar{\alpha}$ en función de la frecuencia para distintas intensidades de lluvia J en mm/h.

2.3.4 Precipitación pluvial

La atmósfera recibe por medio de la evaporación siempre agua en forma de hidrógeno. Mediante la condensación y sublimación del hidrógeno, que suceden a causa del enfriamiento de la atmósfera bajo el punto de rocío se producen gotas de agua y cristales de hielo. Se forman nubes y cerca de la superficie terrestre neblina.

Precipitaciones existen cuando los hidrómetros en las nubes y neblinas de la atmósfera son más transportable por el viento y caen al piso (por ejemplo en forma de lluvia, nieve y granizo), o se deposita en la superficie terrestre como rocío y escarcha.

Para medir las precipitaciones pluviales que caen sobre la superficie terrestre se mide primero la altura de la precipitación pluvial (mm). Esta altura deja ver que tan alto cubrirá la precipitación pluvial la superficie terrestre, cuando esta no evapórice, escurra o resuma.

Los milímetros equivalen a una cantidad de un litro por m² área. Cae precipitación l en forma fija de nieve, en este caso se mide la altura de agua de la nieve que se deshiela como valor de medición.

La medición de precipitación pluvial sucede fácilmente recogiendo las precipitaciones pluviales, cuando se coloca el medidor sin ningún obstáculo. Obligación es que mida la distancia horizontal a obstáculos como casa, árboles o muros; de igual manera la altura del obstáculo.

2.3.4.1 Tipos de precipitaciones

LLUVIA

Es la precipitación de partículas de agua líquida en forma de gotas de más de 0.5 mm. de diámetro.

LLOVIZNA

Es la precipitación de agua líquida compuesta por gotas de un diámetro menor a 0.5 mm.

NIEVE

Es la precipitación de cristales de hielo, muchos de ellos están ramificados, a veces en forma de estrella.

GRANOS DE NIEVE

Es la precipitación de granos de hielos blancos y opacos; son esféricos y a veces cónicos. Su diámetro puede variar de 2 a 5 mm.

GRÁNULOS DE NIEVE

Es la precipitación de pequeños granos de hielo, blancos y

opacos, son aplanados o alargados y su diámetro es inferior a 1 mm.

GRANOS DE HIELO

Es la precipitación de bolitas de hielo transparente, generalmente de forma de esfera y su diámetro es de 5 mm. o inferior.

GRANIZO

Es la precipitación de bolitas de hielo, siendo su diámetro de dimensiones variadas, entre los 5 y 50 mm., y en algunas ocasiones superan esta medida.

NIEBLA

Es la suspensión de pequeñas gotitas de agua en el aire que reducen la visibilidad horizontal a menos de 1 km.

NEBLINA

Es la suspensión de gotitas de agua microscópicas, que reducen la visibilidad igual o mayor que 1km.

VENTISCA

Es el conjunto de partículas de nieve que son levantadas por el viento.

La ventisca puede ser BAJA o ALTA. La ventisca baja se caracteriza porque la nieve es levantada a muy pocos centímetros sobre el suelo sin que la visibilidad se vea considerablemente disminuida. En cambio, la ventisca alta (también denominada nevasca) se caracteriza porque la nieve es levantada a más de 1.50 km. de altura afectando considerablemente la visibilidad.

ROCÍO

Es el depósito de gotas de agua sobre objetos que están ubicados en el suelo.

ESCARCHA

Es el depósito de hielo con aspecto cristalino que toma la forma de escamas o agujas.

2.4 EL COMPORTAMIENTO DE LLUVIAS EN EL PERU

2.4.1 Características generales

El Perú tiene una superficie de 1'285,216 Km², y está dividido en regiones naturales definidas por la Cordillera de los Andes:

COSTA

Comprendida entre el Océano Pacífico y las estribaciones de la cordillera occidental de los Andes, con altitudes variables de 0 a 2,000 msnm y un ancho máximo de 160 km. Ocupa 136,361 Km² (10 % del territorio nacional) y es atravesada por 53 ríos, que nacen en los andes. Su clima es desértico con precipitaciones pluviales inferiores a 50 mm anuales. En ella está concentrada la actividad productiva industrial y agropecuaria, y las grandes ciudades del país.

SIERRA

Entre los pies de los montes occidental y oriental de los Andes. Ocupa 391,991 Km² (30.5 % del territorio nacional, con 70 % de su área por encima de 3,000 msnm. El clima es variable desde templado a gélido polar con precipitaciones pluviales, que ocurren en el período diciembre-marzo, variables entre 300 mm anuales en el sur y 900 mm anuales en el norte. Predominan en ella pequeños valles interandinos, y ciudades rurales de pequeño y mediano porte; la principal actividad económica es la minería

SELVA

Abarca desde el pie de monte oriental de los Andes desde los 2,000 msnm hasta la llanura amazónica 80 msnm, con elevaciones que definen la Selva Alta y Baja. Cubre 756,864 Km² que corresponden al 58,9% de la superficie del país. El clima es tropical y la precipitación anual varía entre 3,000 y 4,000 mm. La región está muy poco ocupada y en ella predominan las actividades extractivas.

2.5 EL DEPARTAMENTO DE TACNA

Tacna es un departamento del Perú situado en el extremo sur del país, ribereño del océano Pacífico por el suroeste y limitante con los departamentos

de Puno por el norte y Moquegua por el noroeste, como con el territorio boliviano por el este y el territorio chileno por el sureste. Su capital es la ciudad de Tacna.

Comprende en las dos terceras partes de su espacio una de las porciones más áridas del desierto costero surcados por estrechos ríos; y el tercio restante corresponde a la puna andina, una porción elevada de la agreste Cordillera de los Andes al sur de la Meseta del Collao.

Más de las siete octavas partes de la población tacneña reside en la capital departamental. La cultura tradicional tiene un importante sustrato cultural aimara, especialmente en las zonas altoandinas, y criolla.

La siguiente información ha sido obtenida del acervo documentario del Gobierno Regional de Tacna.

El Departamento de Tacna está conformado por cuatro provincias:

- Tacna
- Candarave
- Jorge Basadre
- Tarata

GEOGRAFIA

La región Tacna se ubica en el extremo sur de la República del Perú, su geografía abarca, de oeste a este, desde el mar de Grau elevándose hacia las cumbres de la cordillera occidental de los Andes peruanos, abarcando incluso parte de la meseta del Collao. Su relieve es irregular, atravesado por las estribaciones de la cordillera de los Andes, que dejan algunas zonas de menor pendiente cercanas a la costa llamadas pampas, que en algunos casos están dedicadas a la agricultura.

El segmento de la cordillera de los Andes que atraviesa la región Tacna es denominado localmente "Cordillera del Barroso" y forma parte de un eje volcánico que recorre desde el norte de Chile hasta la Región Arequipa en Perú. En las zonas altas existen algunas zonas pantanosas en las nacientes de los ríos, denominadas "bofedales".

Hacia el este de la región Tacna, atravesando la cordillera occidental de los Andes (limítrofe con la Región Puno y la República de Bolivia), se encuentra la meseta del Collao. En esta zona de Tacna se ubica la laguna Vilacota, naciente del río Maure (principal afluente del río Desaguadero) y la represa de Paucarani cercana al hito tripartito entre Perú, Bolivia y Chile.



FIGURA 17: MAPA DEL DEPARTAMENTO DE TACNA
(fuente: Gobierno Regional de Tacna)

En la costa de la región pueden notarse dos condiciones. La costa limítrofe con Chile presenta un relieve de baja pendiente, a esta zona se le conoce como Pampa de la Yarada, esta condición se mantiene hasta casi alcanzar la desembocadura del río Sama. La pampa de la Yarada es una zona de cultivos extensivos que se mantienen por pozos que extraen el agua de la napa freática

En la costa próxima al río Sama, hacia el norte se inicia un sistema de montañas cercanas a la costa que incluso penetran hasta formar acantilados como el del Morro Sama (750 msnm). Estas estribaciones de tipo acantilado son constantes en la costa norte de la región.

CLIMATOLOGÍA

La región Tacna posee un clima de naturaleza mayormente árida. Según la clasificación climática de Köppen por temperatura y precipitaciones, a Tacna le corresponderían 4 tipos de climas:

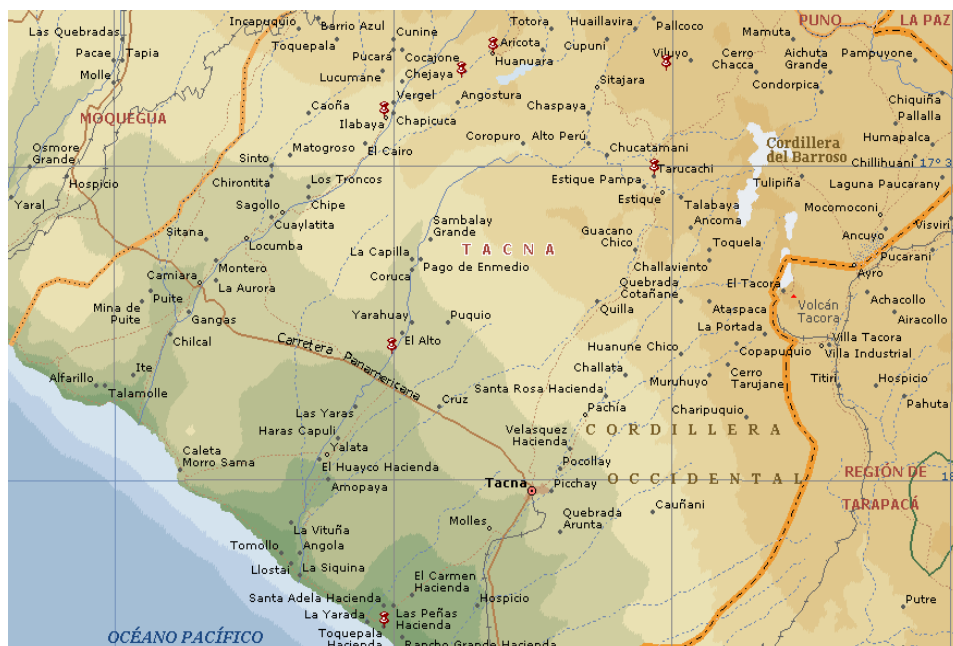


FIGURA 18: LOCALIDADES DEL DEPARTAMENTO DE TACNA
(fuente: Gobierno Regional de Tacna)

- BWh - Desértico cálido: Este tipo de clima se encuentra en la zona costera propiamente dicha. La temperatura media anual está por encima de los 15 °C. y corresponde a las zonas de Ite, Puerto Grau, Los Palos.
- BWk - Desértico frío: Se ubica en zonas alejadas del mar. La temperatura media anual está por debajo de los 18° C.
- BSk - Estepario frío: En la zona andina propiamente dicha. La temperatura media anual está por debajo de los 18 °C. A este clima corresponden los pueblos de Candarave, Palca y Tarata.
- Eh – Alta montaña: Son climas condicionados por la altura.

2.5.1 Provincia de Tacna

La provincia de Tacna es una de las 4 (cuatro) provincias que conforman el Departamento de Tacna, bajo la administración del Gobierno regional de Tacna, al sur del Perú.

Limita al norte con la Provincia de Jorge Basadre, al este con la Provincia de Tarata, al sur con Chile y al oeste con el océano Pacífico.

Esta provincia se divide en diez distritos.

- Tacna
- Alto de la Alianza
- Calana
- Ciudad Nueva
- Coronel Gregorio Albarracín Lanchipa
- Inclán
- Pachía
- Palca
- Pocollay
- Sama

La ciudad de Tacna pertenece a la cuenca del río Caplina. Es conocida como Ciudad Heroica.

En sus valles se producen cultivos como el olivo, la vid y otros frutales. Para ello se han desarrollado proyectos de irrigación como en las zonas de La Yarada y Magollo.

En Tacna existe un problema hidrográfico ante la demanda de la población y las actividades económicas, por lo que se desarrollan proyectos hidro-energéticos que incluyen el aprovechamiento de los recursos hídricos de otras cuencas como la del río Maure y Sama. El clima de Tacna es templado y desértico.

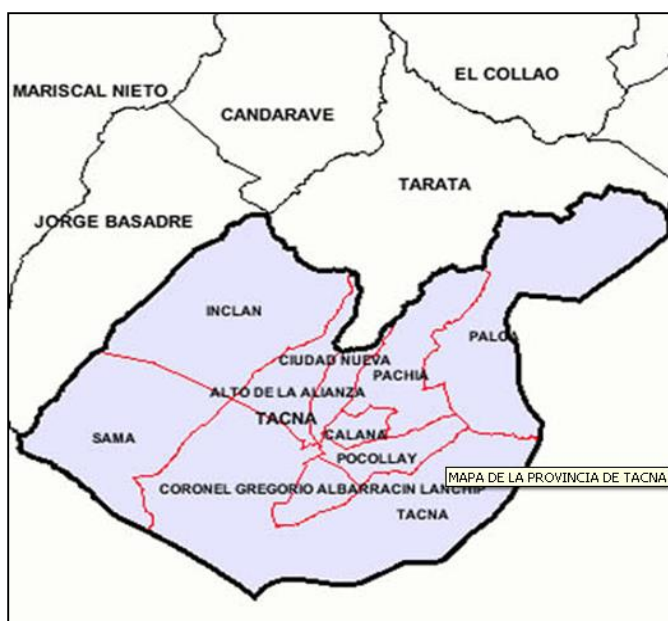


FIGURA 19: MAPA DE LA PROVINCIA DE TACNA
(fuente: Gobierno Regional de Tacna)

CLIMA

Por ser parte del desierto de Atacama, Tacna tiene un clima seco y árido. Por su latitud debería poseer un clima húmedo, pero su modificación se debe a la presencia de la Cordillera de los Andes, que constituye una barrera natural al desplazamiento de las masas de aire provenientes del Atlántico y del Pacífico.

Ecológicamente, el área de estudio se encuentra dentro de la formación Desierto-Subtropical (D-ST), con casi ausencia de lluvias.

La variabilidad de la temperatura está en función de las interrelaciones de interfaz mar-continente; oscilando entre temperaturas mínimas mensuales de 12,3° C (julio) hasta 29,3° C (enero). La humedad relativa es más alta durante el invierno y en el litoral entre 75 y 82%; y menor en verano, entre 66 y 74%.

Los vientos alisios son generados por las diferencias de presión entre el mar y el continente, dando lugar a vientos con velocidades que van desde 2 hasta 4 m/s y, excepcionalmente, con vientos de hasta 6 m/s.

Estos vientos afectan la salud de las personas pero sin llegar a influenciar sobre la producción de los cultivos

2.5.2 Provincia de Candarave

Candarave es capital de la provincia del mismo nombre y se localiza en la margen derecha del Río Callazas, en la parte alta de la cuenca del Río Locumba.

Esta provincia se divide en seis distritos.

- Candarave
- Cairani
- Camilaca
- Curibaya
- Huanuara
- Quilahuani



FIGURA 20: MAPA DE LA PROVINCIA DE CANDARAVE
(fuente: Gobierno Regional de Tacna)

El paisaje de Candarave se distingue por la presencia del volcán Yucamane, localizado al noreste del poblado. Las actividades principales de la provincia de Candarave son la agricultura y ganadería.

El clima de Candarave es frío, árido y con amplitud térmica moderada.

La media anual de temperatura máxima y mínima es 15.5°C y 3.4°C, respectivamente.

2.5.3 Provincia Jorge Basadre

La Provincia Jorge Basadre es una de las cuatro provincias que conforman el Departamento de Tacna, al sur del Perú, bajo la administración del Gobierno Regional de Tacna. Limita al norte con la Provincia de Ilo (Departamento de Moquegua), al este con la Provincia de Candarave, al sur con la Provincia de Tacna y al oeste con el océano Pacífico. En la provincia de Jorge Basadre se encuentra la mina de Toquepala, principal centro metalúrgico de la región Tacna y una de las minas de cobre más importantes del Perú.

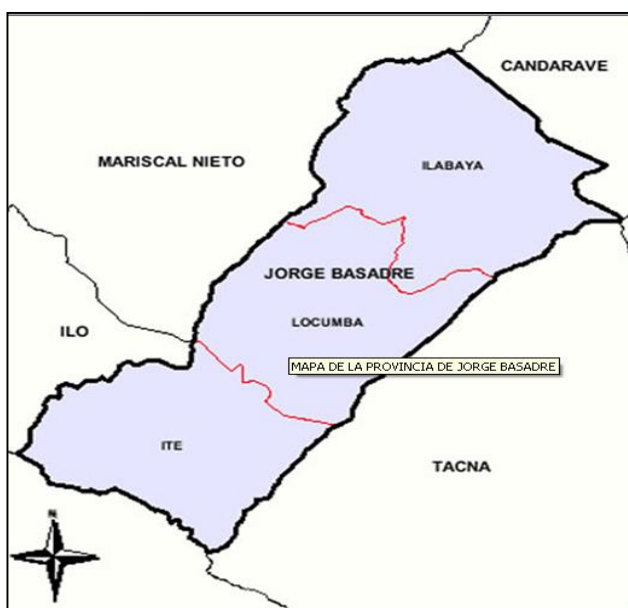


FIGURA 21: MAPA DE LA PROVINCIA DE CANDARAVE
(fuente: Gobierno Regional de Tacna)

Esta provincia se divide en tres distritos.

- Ilabaya
- Ite
- Locumba

La capital de esta provincia es la ciudad de **Locumba**, ubicada sobre los 596 msnm. 17°25'00" Latitud Sur y 70°30'37" Latitud Oeste

2.5.4 Provincia Tarata

La **Provincia de Tarata** es una de las 4 provincias que conforman el Departamento de Tacna, al sureste del Perú, bajo la administración del Gobierno Regional de Tacna. Limita al norte con la Provincia de Candarave y la Provincia de El Collao (Departamento de Puno), al este con Bolivia, al sur y al oeste con la Provincia de Tacna.

Su capital es la ciudad de Tarata (3070 msnm), su historia prehispánica está ligada a los pueblos de la meseta del Collao. En su etapa republicana, la provincia fue invadida por el ejército chileno durante la guerra del Pacífico y devuelta en parte el 1 de septiembre de 1925.

Destacan en su geografía los valles interandinos, la puna y la cordillera del Barroso de origen volcánico.



FIGURA 22: MAPA DE LA PROVINCIA DE TARATA
(fuente: Gobierno Regional de Tacna)

CAPITULO III

DIMENSIONAMIENTO DE LA RED

El dimensionamiento de la red satelital constituye un paso importante en el diseño de una red VSAT, debido a que permite definir las características principales del enlace tales como su topología, la selección del satélite geoestacionario y de los equipos VSAT.

La selección adecuada de dichas características tienen influencia principalmente sobre la parte económica; una adecuada selección de estos aspectos representa un bajo costo de la red satelital, además de facilitar su futura implementación.

3.1 TOPOLOGÍA DE LA RED

Dadas las características del enlace (número de usuarios, ubicación geográfica y el tipo de servicio), se optó por implementar una topología tipo malla.

La principal razón para esta elección es el aspecto económico, ya que la implementación de un hub en esta red permitirá que los costos se incrementen de forma considerable y por tanto cada usuario tendría que pagar una cuota alta para recibir el servicio de acceso a internet.

Otra razón determinante es el menor retardo generado por esta topología, la cual implementa un salto para realizar toda la comunicación, por tanto el retardo es aproximadamente de 250 ms. Esto hace que la comunicación sea más rápida entre la terminal y el satélite.

3.2 SELECCIÓN DEL SATÉLITE

Inicialmente se tomaron en cuenta los satélites que tienen cobertura en el país, analizando varios aspectos claves que determinarán la elección del satélite, los cuales son:

1. Autorización del Ministerio de Transportes y Comunicaciones para prestar servicios en el país.
2. Tipos de servicios suministrados (Acceso a Internet por satélite).

3. Operación en banda Ku.
4. Disponibilidad de transponders asignados al servicio de Internet.
5. Vigencia de operación del satélite en su órbita geoestacionaria.

Empleando la siguiente Tabla, se valoraron los criterios antes mencionados, teniendo en cuenta que el satélite elegido debe cumplir con todos ellos.

TABLA 3: SELECCIÓN DEL SATÉLITE

SATELITE	AUTORIZAADO	SERVICIO DE INTERNET	BANDA Ku
Eutelsat 113 West A	X	X	X
Venesat 1 (Simon Bolivar 1)	X	X	X
Amazonas 2 (AMZ2)	X	X	X
Intelsat 29E (IS-29E)	X	X	X
Intelsat 14 (IS-14, PAS 14)	X	X	X

Se seleccionó el satélite Intelsat 14 debido a las siguientes razones:

- Cobertura en el territorio peruano, autorizado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones para la suministrar servicios en el país.
- Prestación del servicio requerido, transmisión de datos con acceso a Internet.
- Opera en la banda Ku, empleando PIRE de cobertura alto para en el Perú.,
- Bajo costo en el alquiler del ancho de banda del transpondedor.

3.2.1 Características técnicas del satélite geoestacionario

Se eligió el satélite Intelsat 14 del consorcio INTELSAT, que utiliza transponders en la banda Ku, para el acceso a Internet. Fue lanzado el 2009.

La posición orbital del Intelsat 14 es 45° Longitud Oeste, con un tiempo de vida útil de 15 años. El PIRE del satélite para la zona de Perú indica según su footprint mostrada de 49.1 dBw.

Intelsat 14 a 315 ° E

Estado: Estación guardado



FIGURA 23: FOOTPRINT DEL INTELSAT 14 BANDA Ku

(fuente: www.intelsat.org)

Se eligió el Transponder 17 del Intelsat 14, cuyos rangos de frecuencias de operación en el down link y en el up link, son las siguientes:

Up-Link : 14.372 – 14.408 GHz

Down-Link: 11.822 – 11.858 GHz

El transponder en el up-link tiene polarización vertical, y en down-link polarización horizontal.

3.3 EQUIPOS VSAT

Para la elección del equipo VSAT que tendría cada usuario se tomaron en cuenta varios parámetros que la estación debe satisfacer en su totalidad:

1. Operar en banda Ku.

2. Operar con antenas pequeñas.
3. Eficiencia en operación del equipo (modulaciones y acceso al medio).
4. Marca reconocida.
5. Costo de adquisición.
6. Facilidad de adquisición.

En la siguiente Tabla, se confrontan cada uno de los equipos considerados para esta decisión.

TABLA 4: SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS VSAT

EQUIPO	1	2	3	4	5	6
Gilat Skystar Advantage	√	√	√	√	√	√
Hughes PES 5000	√	√	√	√
ViaSat Surfbeam	√	√	√	√	√	...
PolarSat VSATPlus II	√	√	√	√	√

Los equipos para implementar los terminales VSAT de la red propuesta, son equipos marca Gilat, de la tecnología Skystar Advantage. A continuación se resumen los criterios de elección:

- Costo menor respecto a otros equipos.
- Operación del equipo en banda Ku.
- Disponibilidad de antenas de diámetro pequeño.
- Tipo de modulación y técnicas de acceso al medio eficientes.
- Reconocimiento de la marca en comunicaciones satelitales.
- La empresa Gilat tiene distribuidor oficial en Perú, facilitando la adquisición y envío del equipo.

Las especificaciones técnicas del equipo (hoja de datos) se muestra en el ANEXO 1.

3.4 TAMAÑO DE LA RED

Se seleccionó las estaciones terrenas satelitales ubicadas en nueve localidades de la Región Tacna, que se encuentran en el ámbito rural de intervención del Fondo de Inversiones en Telecomunicaciones (FITEL), a través de los Proyectos de Apoyo a la Comunicación Comunal (CPACC). Cabe indicar que el concepto de ámbito rural aplicable al FITEL, ha sido elaborado según el Decreto Supremo N° 024-2008-MTC).

3.5 CONEXIÓN A LA RED DORSAL NACIONAL DE FIBRA ÓPTICA

El siguiente esquema muestra como se conectará la Red VSAT propuesta a la Red Dorsal Nacional de Fibra óptica. Nuestra propuesta es considerada como conexión de la “última milla”.

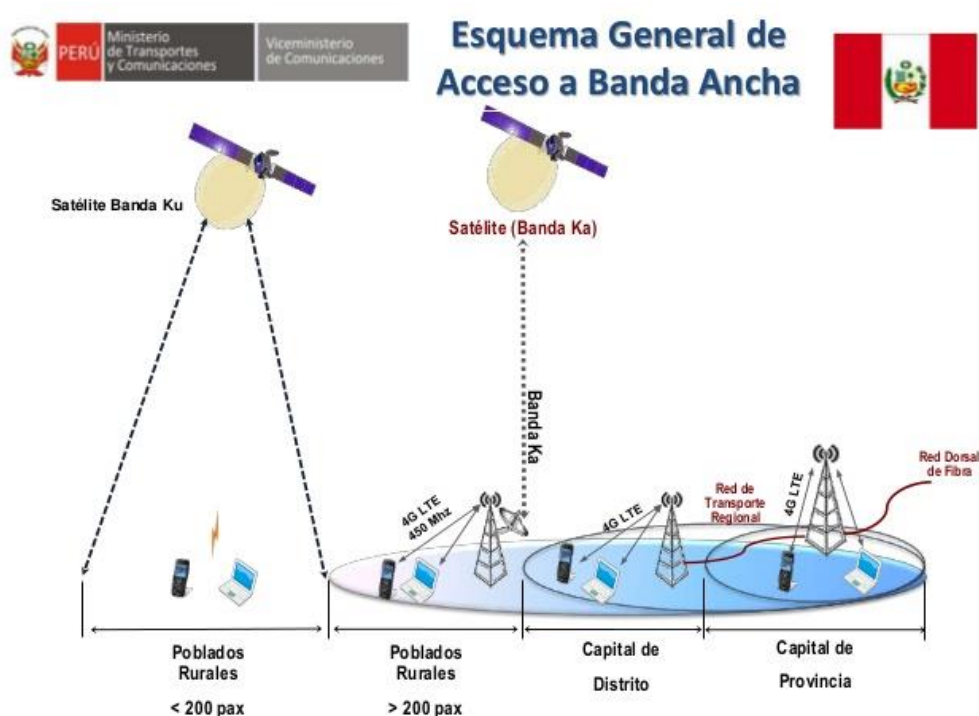


FIGURA 24: CONEXIÓN A LA RED DORSAL NACIONAL DE FIBRA OPTICA
(fuente:<https://es.slideshare.net/FitelPeru/r-perez>)

CAPITULO IV

DISEÑO DE LA RED VSAT

4.1 DETERMINACIÓN DE LAS LOCALIDADES

De acuerdo a la información suministrada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), son nueve las localidades que cuentan con estaciones satelitales en la Región Tacna, implementadas con el Fondo de Inversiones en Telecomunicaciones (FITEL), a través de los Proyectos de Apoyo a la Comunicación Comunal (CPACC), de las cuales se ha seleccionado nueve localidades. La siguiente Tabla 5, muestra las ubicaciones y sus posiciones cartográficas.

TABLA 5
ESTACIONES DEL CPACC EN LA REGIÓN DE TACNA

Nº	LOCALIDAD	DISTRITO	PROVINCIA	REGIÓN	UBICACIÓN
1	Sama Grande	INCLAN	TACNA	TACNA	L.O. 70° 29' 59.3" L.S. 17° 47' 19.3"
2	Tarucachi	TARUCACHI	TARATA	TACNA	L.O. 70° 01' 54.0" L.S. 17° 31' 32.3"
3	Yabroco	SUSAPAYA	TARATA	TACNA	L.O. 70° 06' 59.6" L.S. 17° 20' 53.1"
4	Santa Cruz	CANDARAVE	CANDARAVE	TACNA	L.O. 70° 12' 20.8" L.S. 17° 16' 14.1"
5	Camilaca	CAMILACA	CANDARAVE	TACNA	L.O. 70° 23' 18.5" L.S. 17° 14' 33.1"
6	Borogueña	ILABAYA	JORGE BASADRE	TACNA	L.O. 70° 26' 31.2" L.S. 17° 18' 59.6"
7	Alto Perú	PALCA	TACNA	TACNA	L.O. 69° 40' 50.76" L.S. 17° 34' 27.42"
8	Vilavilani	PALCA	TACNA	TACNA	L.O. 69° 54' 25.8" L.S. 17° 50' 57.4"
9	Caplina	PACHIA	TACNA	TACNA	L.O. 69 56' 13.6" L.S. 17° 41' 24.4"

4.2 DISEÑO DE LAS ESTACIONES TERMINALES VSAT

4.2.1 Cálculo de los parámetros de una estación terrena

Se utilizaron las siguientes expresiones matemáticas para calcular los siguientes parámetros de las estaciones terrenas:

- Distancia estación terrena – satélite (d)
- Angulo de elevación (E)
- Angulo Azimut (Az)

L_{TT}: Latitud de Estación terrena

F: Longitud del satélite – Longitud de estación terrena = L_S - L_T

R = 6 378.16 km. (Radio de la tierra)

h = 35786 km. (Elevación del satélite)

L_S = 45°O (INTELSAT 14)

$$F = L_S - L_T$$

DISTANCIA ESTACIÓN TERRENA – SATÉLITE (D)

$$D = \sqrt{h^2 + 2 \cdot R(R + h)(1 - \cos F \cdot \cos L_{TT})}$$

ANGULO DE ELEVACIÓN (E)

$$E = \arccos \left[\left(\frac{R + h}{D} \right) * \sqrt{(1 - \cos^2 F \cdot \cos^2 L_{TT})} \right]$$

AZIMUT (A)

$$A = \arcsen \left[\frac{\sin F}{\sqrt{(1 - \cos^2 F \cdot \cos^2 L_{TT})}} \right]$$

4.2.1.1 SAMA GRANDE



FIGURA 25: ESTACIÓN SAMA GRANDE

(fuente: Google Earth)

TABLA 6: ESTACIÓN SAMA GRANDE

LOCALIDA	DISTRITO	PROVINCI	REGIÓN	
Sama Inclán	INCLÁN	TACNA	TACNA	
	Ubicación			
Latitud	17°	47'	19,30"	S
Longitud	70°	29'	59,30"	O
Latitud	17,79°	S	0,310471288	
Longitud	70,50°	O	1,230453729	
Altitud	541	m.s.n.m		

$F = L_S - L_T$					25.50	0.44505557
$D = \sqrt{h^2 + 2.R(R+h)(1 - \cos F . \cos L_{TT})}$					36827.20 Km	
$E = \arccos \left[\left(\frac{R+h}{D} \right) * \sqrt{(1 - \cos^2 F . \cos^2 L_{TT})} \right]$					54.17°	
$A = \arcsen \left[\frac{\text{sen} F}{\sqrt{(1 - \cos^2 F . \cos^2 L_{TT})}} \right]$					57.36°	

4.2.1.2 TARUCACHI

FIGURA 26: ESTACION TARUCACHI
(fuente: Google Earth)

TABLA 7: ESTACION TARUCACHI

LOCALID	DISTRITO	PROVINCIA	REGION	
Tarucachi	TARUCAC	TARATA	TACNA	
	Ubicación			
Altitud	17°	31'	32,30"	S
Longitud	70°	1'	54,00"	O
Latitud	17,53°	S	0,305880102	
Longitud	70,03°	O	1,222283164	
Latitud	3062	m.s.n.m		

$F = L_S - L_T$					25.03	0.436885
$D = \sqrt{h^2 + 2 \cdot R(R + h)(1 - \cos F \cdot \cos L_{TT})}$					36793.72 Km	
$E = \arccos \left[\left(\frac{R + h}{D} \right) * \sqrt{(1 - \cos^2 F \cdot \cos^2 L_{TT})} \right]$					54.76°	
$A = \arcsen \left[\frac{\sin F}{\sqrt{(1 - \cos^2 F \cdot \cos^2 L_{TT})}} \right]$					57.18°	

4.2.1.3 YABROCO

FIGURA 27: ESTACION YABROCO
(fuente: Google Earth)

TABLA 8: ESTACION YABROCO

LOCALID	DISTRITO	PROVINCI	REGION	
Yabroco	SUSAPAY	TARATA	TACNA	
	Ubicación			
Altitud	17°	20'	53,10"	S
Longitud	70°	6'	59,60"	O
Latitud	17,35°	S	0,302781173	
Longitud	70,12°	O	1,223764755	
Altitud	3338	m.s.n.m		

$F = L_S - L_T$							25.12	0.43836659
$D = \sqrt{h^2 + 2.R(R+h)(1 - \cos F . \cos L_{TT})}$							36791.95 Km	
$E = \arccos \left[\left(\frac{R+h}{D} \right) * \sqrt{(1 - \cos^2 F . \cos^2 L_{TT})} \right]$							54.80°	
$A = \arcsen \left[\frac{\text{sen} F}{\sqrt{(1 - \cos^2 F . \cos^2 L_{TT})}} \right]$							57.54°	

4.1.2.4 SANTA CRUZ

FIGURA 28: ESTACION SANTA CRUZ

(fuente: Google Earth)

TABLA 9: ESTACION SANTA CRUZ

LOCALID	DISTRITO	PROVINCI	REGION	
Santa	CANDARA	CANDARA	TACNA	
	Ubicació			
Latitud	17°	16'	14,10"	S
Longitud	70°	12'	20,80"	O
Latitud	17,27°	S	0,301428543	
Longitud	70,21°	O	1,225321976	
Altitud	3438	m.s.n.m		

$F = L_S - L_T$					25.21	0.43992381
$D = \sqrt{h^2 + 2.R(R+h)(1 - \cos F . \cos L_{TT})}$					36793.91 Km	
$E = \arccos \left[\left(\frac{R+h}{D} \right) * \sqrt{(1 - \cos^2 F . \cos^2 L_{TT})} \right]$					54.76°	
$A = \arcsen \left[\frac{\text{sen} F}{\sqrt{(1 - \cos^2 F . \cos^2 L_{TT})}} \right]$					57.76°	

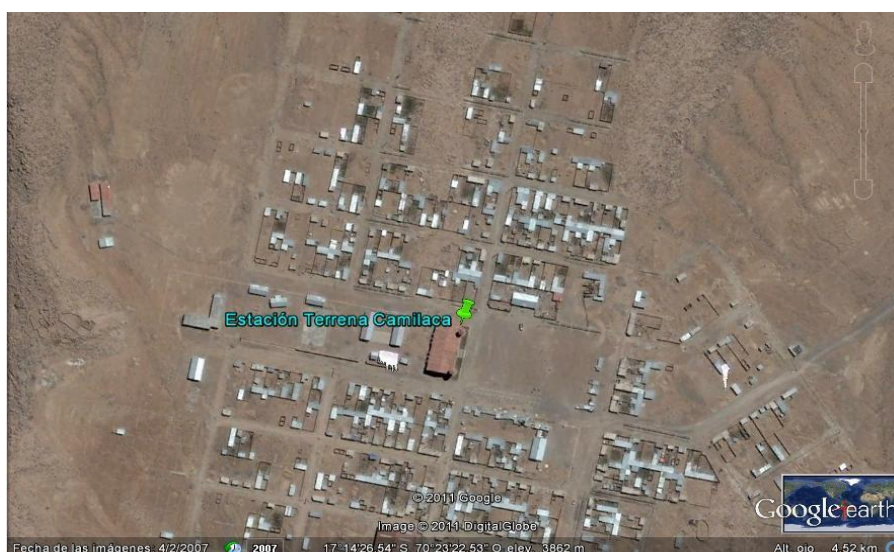
4.1.2.5 CAMILACA

FIGURA 29: ESTACION CAMILACA

(fuente: Google Earth)

TABLA 10: ESTACION CAMILACA

LOCALID	DISTRITO	PROVINCI	REGION	
Camilaca	CAMILAC	CANDARA	TACNA	
	Ubicación			
Latitud	17°	14'	33,10"	S
Longitud	70°	23'	18,50"	O
Latitud	17,24°	S	0,300938881	
Altitud	70,39°	O	1,228510596	
Longitud	3855	m.s.n.m		

$F = L_S - L_T$						25.41	0.44345859
$D = \sqrt{h^2 + 2 \cdot R \cdot (R + h) \cdot (1 - \cos F \cdot \cos L_{TT})}$						36803.50 Km	
$E = \arccos \left[\left(\frac{R + h}{D} \right) \cdot \sqrt{(1 - \cos^2 F \cdot \cos^2 L_{TT})} \right]$						54.59°	
$A = \arcsen \left[\frac{\sin F}{\sqrt{(1 - \cos^2 F \cdot \cos^2 L_{TT})}} \right]$						58.04°	

4.1.2.6 BOROGUEÑA - ILABAYA

FIGURA 30: ESTACION BOROGUEÑA
(fuente: Google Earth)

TABLA 11: ESTACION BOROGUEÑA

LOCALID	DISTRITO	PROVINCI	REGION	
Borogueña	ILABAYA	JORGE	TACNA	
		BASADRE		
Ubicación				
Latitud	17°	18'	59,60"	S
Longitud	70°	26'	31,20"	O
Latitud	17,32°	S	0,30223091	
Longitud	70,44°	O	1,229444832	
Altitud	2815	m.s.n.m		

$F = L_S - L_T$					25.44	0.44404667
$D = \sqrt{h^2 + 2.R(R+h)(1 - \cos F . \cos L_{TT})}$					36807.79 Km	
$E = \arccos \left[\left(\frac{R+h}{D} \right) * \sqrt{(1 - \cos^2 F . \cos^2 L_{TT})} \right]$					54.51°	
$A = \arcsen \left[\frac{\sin F}{\sqrt{(1 - \cos^2 F . \cos^2 L_{TT})}} \right]$					57.97°	

4.1.2.7 ALTO PERÚ

FIGURA 31: ESTACIÓN ALTO PERÚ
(fuente: Google Earth)

TABLA 12: ESTACIÓN ALTO PERÚ

LOCALID	DISTRITO	PROVINCIA	REGION	
Alto Perú	PALCA	TACNA	TACNA	
	Ubicación			
Latitud	17°	34'	27,42"	S
Longitud	69°	40'	50,78"	O
Latitud	17,57°	S	0,306729108	
Longitud	69,68°	O	1,216158901	
Altitud	4329	m.s.n.m		

$F = L_S - L_T$					24.58	0.42901599
$D = \sqrt{h^2 + 2.R(R+h)(1 - \cos F . \cos L_{TT})}$					36770.82 Km	
$E = \arccos \left[\left(\frac{R+h}{D} \right) * \sqrt{(1 - \cos^2 F . \cos^2 L_{TT})} \right]$					55.17°	
$A = \arcsen \left[\frac{\text{sen} F}{\sqrt{(1 - \cos^2 F . \cos^2 L_{TT})}} \right]$					56.64°	

4.1.2.8 VILAVILANI

FIGURA 32: ESTACIÓN VILAVILANI
(fuente: Google Earth)

TABLA 13: ESTACIÓN VILAVILANI

LOCALID	DISTRITO	PROVINCI	REGION	
Vilavilani	PALCA	TACNA	TACNA	
	Ubicació			
Latitud	17°	50'	57,40"	S
Longitud	69°	54'	25,80"	O
Latitud	17,85°	S	0,311528666	
Longitud	69,91°	O	1,220110229	
Altitud	3565	m.s.n.m		

$F = L_S - L_T$					24.91	0.43471207
$D = \sqrt{h^2 + 2 \cdot R(R + h)(1 - \cos F \cdot \cos L_{TT})}$					36798.71 Km	
$E = \arccos \left[\left(\frac{R + h}{D} \right) \cdot \sqrt{(1 - \cos^2 F \cdot \cos^2 L_{TT})} \right]$					54.68°	
$A = \arcsen \left[\frac{\sin F}{\sqrt{(1 - \cos^2 F \cdot \cos^2 L_{TT})}} \right]$					56.57°	

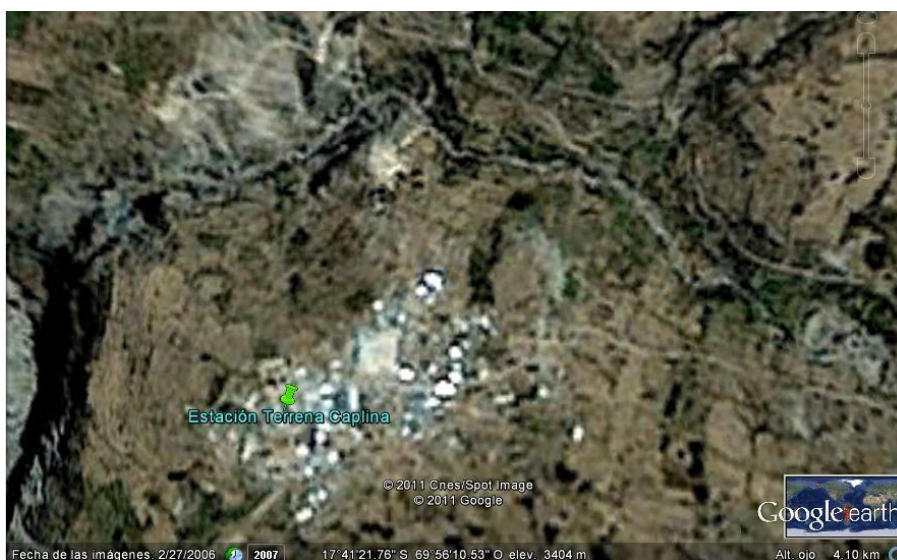
4.2.1.9 CAPLINA (ANCOMA)

FIGURA 33: ESTACIÓN CAPLINA
(fuente: Google Earth)

TABLA 14: ESTACIÓN CAPLINA

LOCALID	DISTRITO	PROVINCIA	REGION	
Caplina	PACHIA	TACNA	TACNA	
Ubicación				
Latitud	17°	41'	24,40"	S
Longitud	69°	56'	13,60"	O
Latitud	17,69°	S	0,308750684	
Longitud	69,94°	O	1,220632858	
Altitud	3416	m.s.n.m		

$F = L_S - L_T$		24.94	0.43523469
$D = \sqrt{h^2 + 2.R(R+h)(1 - \cos F . \cos L_{TT})}$		36794.62 Km	
$E = \arccos \left[\left(\frac{R+h}{D} \right) * \sqrt{(1 - \cos^2 F . \cos^2 L_{TT})} \right]$		54.75°	
$A = \arcsen \left[\frac{\sin F}{\sqrt{(1 - \cos^2 F . \cos^2 L_{TT})}} \right]$		56.83°	

4.2.2 Evaluación de los resultados

La siguiente tabla muestra el resumen de los valores obtenidos para los parámetros de cada estación VSAT.

TABLA 15

PARAMETROS OBTENIDOS DE LAS ESTACIONES VSAT

Nº	ESTACION TERRENA	PROVINCIA	PARÁMETROS		
			D	E	A
1	Sama	TACNA	36827.2	54.1	57.36
2	Tarucachi	TARATA	36793.7	54.7	57.18
3	Yabroco	TARATA	36791.9	54.8	57.54
4	Santa Cruz	CANDARA	36793.9	54.7	57.76
5	Camilaca	CANDARA	36803.5	54.5	58.04
6	Borogueña	JORGE	36807.7	54.5	57.97
7	Alto Perú	TACNA	36770.8	55.1	56.64
8	Vilavilani	TACNA	36798.7	54.6	56.57
9	Caplina	TACNA	36794.6	54.7	56.83

4.3 DETERMINACION DE LOS PARAMETROS DE UN ENLACE SATELITAL

4.3.1 Características de la Estación Terrena

Coordenadas	:	Latitud :	°S
		Longitud:	°O
		Altitud:	m.s.n.m
Diámetro de la Antena	:	1.2 mt	
Rendimiento	:	60 %	
Distancia ET-Satélite	:	D	
Angulo de Elevación	:	E	
Azimut	:	A	
Frecuencia Up-Link	:	14.390 GHz	
Polarización en el up-link	:	Vertical	
Frecuencia Down-Link	:	11.450 GHz	
Polarización en el up-link	:	Horizontal	

4.3.2 Determinación de los parámetros del up-link

Potencia de transmisión

$P_t = 1.0 \text{ watt}$

$P_t \text{ dBw} = 0$

dBw

Ganancia de la antena transmisora

$D = 1.2 \text{ metros}$

$f = 14.390 \text{ GHz}$

$GTX \text{ dB} = 20 \log (f(\text{MHz})) + 20 * \log D(\text{mts}) - 42.2$

$GTX \text{ dB} = 20 \log (14390) + 20 * \log (1.2) - 42.2$

GTX dB= 42.545 dB

Pérdidas en el espacio libre $(L_{fs})_{UP}$

$d_{E.T-SAT}$: distancia E.T – Satélite

f_{UP} : frecuencia del up-link

$$L_{fsUP \text{ dB}} = 92.4 + 20 * \log (d_{E.T-SAT}) \text{ Km} + 20 * \text{Log} (f_{UP}) \text{ GHz}$$

Pérdidas de respaldo (L_{IBO})

L_{IBO} son las pérdidas de respaldo (back off) mínima a la salida de HPA, para operar en zona lineal, en el enlace de subida.

$$L_{IBO} \text{ (dB)} = 2 \text{ dB}$$

Pérdidas por ramificaciones (L_{postHPA})

L_{postHPA} son las pérdidas típicas por ramificaciones y alimentador post HPA en el combinador de filtros

$$L_{postHPA} = 3 \text{ dB}$$

Pérdidas de acoplamiento (L_{acoplo UP})

L_{acoplo UP} son las pérdidas de acoplamiento entre el transmisor y la antena

$$L_{acoplo UP} = 1.7 \text{ dB}$$

Pérdidas de apuntamiento de la antena (L_{pointup})

$$L_{pointup} = 12 * \left(\frac{\theta_{3dB}}{\lambda} \right)^2$$

$$\lambda = c/f$$

$$\lambda = \frac{3 * 10^8}{14.390 * 10^9}$$

$$\lambda = 2.085 * 10^{-2} \text{ metros}$$

$$D = 1.2 \text{ metros}$$

$$\theta_{3dB} = 65 * (\lambda/D)$$

$$\theta_{3dB} = 65 * (2.085 * 10^{-2} / 1.2)$$

$$\theta_{3dB} = 1.13$$

$$\alpha_{tx} = 0.025$$

Entonces:

$$L_{\text{point up}} = 12 * \left(\frac{0.025}{1.13} \right)^2$$

$$L_{\text{point up}} = 0.006 \text{ dB}$$

Pérdidas en la guía de onda transmisora (L_{go UP})

L_{go UP} son las pérdidas típicas por guía de ondas que operan en la banda Ku.en el up-link.

$$L_{\text{go UP}} = 1.5 \text{ dB}$$

Temperatura de ruido del sistema de transmisión

$$T_{\text{SIS Tx}} (^{\circ}\text{K}) = T_{\text{ant SAT}} + T_{\text{LNA}}$$

$$T_{\text{LNA}} = 700 \text{ } ^{\circ}\text{K} \quad (\text{Temperatura de ruido del LNA del satélite})$$

$$T_{\text{ant SAT}} = 290 \text{ } ^{\circ}\text{K} \quad (\text{Temperatura de ruido de la antena Rx del satélite})$$

$$T_{\text{SIS Tx}} (^{\circ}\text{K}) = 290^{\circ} + 700^{\circ}$$

$$T_{\text{SIS Tx}} (^{\circ}\text{K}) = 990^{\circ}$$

Velocidad de transmisión del equipo VSAT

Especificado en la hoja de datos del equipo VSAT. Para este diseño, se tomó el valor de

$$R_b = 76.8 \text{ kbps (modulación MSK)}$$

4.3.3 Determinación de los parámetros del down-link

PIRESAT

El PIRESAT se determina del footprint de la cobertura del haz puntiforme

del satélite INTELSAT 14 sobre América del Sur.

PIRESAT = 49.1 dBw

Ganancia de la antena receptora

D = 1.2 metros

f = 11.840 GHz

GTX dB=20 log (f(MHz)) + 20* log D(mts) - 42.2

GTX dB=20 log (11840) + 20* log (1.2) - 42.2

GTX dB= 40.851 dB

Pérdidas en el espacio libre (Lfs)_{down}

d_{E.T-SAT} : distancia E.T – Satélite

f_{down} : frecuencia del down-link

L_{fs down} dB = 92.4 + 20 * log (d_{E.T-SAT}) Km + 20 * Log (f_{down}) GHz

Pérdidas de acoplamiento (Lacoplo down)

Lacoplo down son las pérdidas de acoplamiento entre el receptor y la antena

Lacoplo down = = 0.3 dB

Pérdidas de respaldo (L_{oBO})

L_{oBO} son las pérdidas de respaldo (back off) mínima a la salida de HPA, en el enlace de bajada.

L_{iBO} (dB) = 4 dB

Pérdidas en la guía de onda receptora (Lgo_{down})

Lgo down son las pérdidas típicas por guía de ondas que operan en la banda Ku.en el down-link.

$$L_{go \text{ UP}} = 1.5 \text{ dB}$$

Pérdidas de apuntamiento de la antena (Lpoint down)

$$L_{\text{point down}} = 12 * \left(\frac{\alpha_{tx}}{\theta - 3\text{dB}} \right)^2$$

$$\lambda = c/f$$

$$\lambda = \frac{3 * 10^8}{11.840 * 10^9}$$

$$\lambda = 2.534 * 10^{-2} \text{ metros}$$

$$D = 1.2 \text{ metros}$$

$$\theta - 3\text{db} = 65 * (\lambda/D)$$

$$\theta - 3\text{db} = 65 * (2.534 * 10^{-2} / 1.2)$$

$$\theta - 3\text{db} = 1.373$$

$$\alpha_{tx} = 0.025$$

Entonces:

$$L_{\text{point up}} = 12 * \left(\frac{0.025}{1.373} \right)^2$$

$$L_{\text{point up}} = 0.004 \text{ dB}$$

Temperatura de ruido del sistema de recepción

$$T_{N \text{ Rx}} (^{\circ}\text{K}) = T_{\text{ant Rx}} + T_{\text{LNA}} + T_o * (F-1)$$

$$T_{\text{LNA}} = 200 \text{ }^{\circ}\text{K} \quad (\text{Temperatura de ruido del LNA del receptor})$$

$$T_{\text{ant Rx}} = 34 \text{ }^{\circ}\text{K} \quad (\text{Temperatura de ruido de la antena Rx del satélite})$$

$$T_o = 288 \text{ }^{\circ}\text{K} \quad (\text{Temperatura de ruido de la Tierra})$$

$$F = 2.2 \quad (\text{Factor de ruido en el receptor})$$

$$T_{N_{Rx}} (^{\circ}K) = 34^{\circ} + 200^{\circ} + 288^{\circ} * (2.2 - 1)$$

$$T_{N_{Rx}} (^{\circ}K) = 579.6^{\circ}$$

Constante de Boltzmann

$$K = 1.3806 * 10^{-23} \text{ W / Hz - } ^{\circ}K$$

$$K \text{ dBw/Hz - } ^{\circ}K = - 228.6 \text{ dBw/Hz - } ^{\circ}K$$

Velocidad de recepción del equipo VSAT

Especificado en la hoja de datos del equipo VSAT. Para este diseño, se tomó el valor de

$$R_b = 256 \text{ kbps (modulación QPSK)}$$

4.4 PÉRDIDAS DEBIDO A LA LLUVIA (L_{rain}) EN LAS ESTACIONES VSAT DE LA REGIÓN TACNA

4.4.1 Método para predecir la atenuación por la lluvia

El método utilizado para determinar las pérdidas, se explica en el Informe 564-2 del CCIR, modificado en la Reunión Preparatoria de la Conferencia Administrativa Regional de Radiocomunicaciones, para la planificación del servicio por satélite en la Región 2.

Para calcular la atenuación media a largo plazo debida a la lluvia a lo largo de un trayecto oblicuo en un emplazamiento determinado, deben utilizarse los siguientes parámetros:

R_p Índice de pluviosidad en un punto para el emplazamiento en los porcentajes de tiempos requeridos (mm/h.).

h_0 : Altura sobre el nivel medio del mar en la estación terrena (Km.). θ : Angulo de elevación (grados).

λ : Latitud de la estación terrena (grados).

El método comprende las etapas siguientes:

- 1) Cálculo de la altura media de la isoterma de cero grados (o el nivel de congelación) h_F utilizando la fórmula.

$$h_F = 5.1 \cos (1.06 \lambda) \quad \text{Km.}$$

Esa altura debe multiplicarse por un coeficiente reductor C para obtener la altura de la lluvia real

$$h_R = h_F \cdot C:$$

$$C = 0,6 \quad \text{para} \quad \lambda < 20^\circ$$

$$C = 0,6 + 0,2 (\lambda - 20) \quad \text{para} \quad 20^\circ < \lambda < 40^\circ$$

$$C = 1 \quad \text{para} \quad \lambda > 40^\circ$$

- 2) Cálculo de la longitud del trayecto oblicuo, LS por debajo de la altitud de la lluvia, para $\theta > 10^\circ$:

$$L_s = \frac{(h_R - h_o)}{\text{Sen } \theta} \quad \text{kms}$$

- 3) Cálculo de la proyección horizontal, LG, a partir de la longitud oblicuo utilizando la fórmula:: (Ver Figura 29)

$$L_G = L_s \cdot \text{Cos } \theta \quad \text{Km}$$

- 4) Calculo del factor reductor, $r_{0,01}$ para el 0,01 % del tiempo a partir de la fórmula:

$$r_{0,01} = \frac{90}{90 + 4L_G}$$

- 5) Evaluación del índice de lluvia excedido durante el 0.01 % del año medio (con un tiempo de intencionalidad de un min.) si no puede obtenerse esta información de las fuentes locales de datos, puede deducirse una estimación de los mapas de las zonas hidrometereológicas.
- 6) Obtención del coeficiente de atenuación YR (dB / Km.) utilizando el nomograma de la Figura 30. Para determinar la atenuación en caso de polarización circular, se obtiene una buena aproximación tomando la media aritmética de la atenuación con polarización horizontal y vertical.

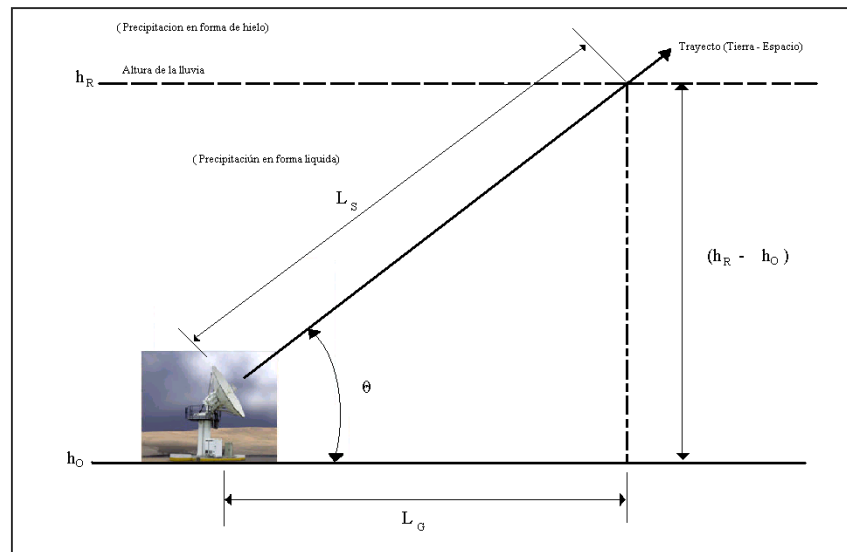


FIGURA 34: PRESENTACIÓN DE UN TRAYECTO TIERRA-ESPACIO
(fuente propia)

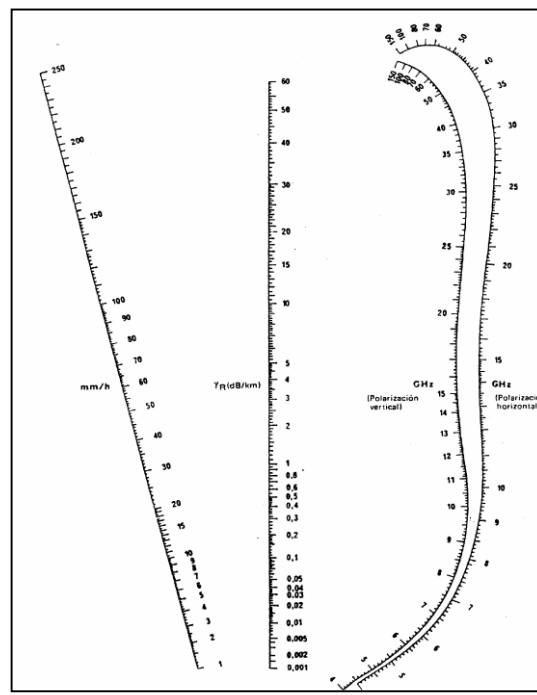


FIGURA 35: NOMOGRAMA PARA EL COEFICIENTE DE ATENUACIÓN
POR LA LLUVIA Y_R

(fuente: Manual sobre telecomunicaciones por satélite CCIR)

- 7) Entonces puede calcularse la atenuación excedida durante el 0,01% del año medio utilizando la siguiente fórmula:

$$A_{0.01} = Y_R - L_S * r_{0.01}$$

- 8) Se puede estimar la atenuación que debe excederse durante estos porcentajes del año, entre el 0,01% y el 1% , a partir de la atenuación que debe excederse durante el 0,01% del año mediante la siguiente formula:

$$L_{rain} = b * A_{0.01} - p^{-a}$$

4.4.2 Consideraciones para el cálculo de las pérdidas por lluvia

Para determinar las pérdidas por precipitaciones pluviales se deben tomar las siguientes consideraciones:

- 1) Se utilizarán los datos históricos de precipitaciones pluviales por mes de cada localidad seleccionada.
- 2) Se tomará el valor máximo de precipitación pluvial, para determinar su máxima pérdida por efecto de la lluvia.
- 3) En los casos que el valor de la altura de la lluvia real (h_R) sea menor que el valor de la altura sobre el nivel medio del mar (h_o), se tomará el valor absoluto de la diferencia entre $h_R - h_o$.
- 4) En mi proyecto, la frecuencia up-link está relacionada con la polarización vertical, y que la frecuencia down-link con la polarización horizontal.

4.4.3 Determinación de la intensidad de precipitación pluvial por localidad

Se utilizó el software en línea Climate-Data, que se basa en dos fuentes de datos:

- Todos nuestros datos climáticos provienen de un modelo climático. El modelo tiene más de 220 millones de puntos de datos y una resolución de 30 segundos de arco. El modelo utiliza datos meteorológicos de miles de estaciones meteorológicas de todo el mundo. Estos datos meteorológicos fueron recolectados entre 1982 y 2015. Estos datos también se actualizarán de vez en cuando.
- Todos los datos de ubicación de las ciudades se basan en datos del proyecto OpenStreetMap. OpenStreetMap es un archivo de datos abierto, licenciado bajo el Open Data Commons Open Database License (ODbL)

4.4.3.1 Estación Sama Grande

CLIMOGRAMA SAMA GRANDE

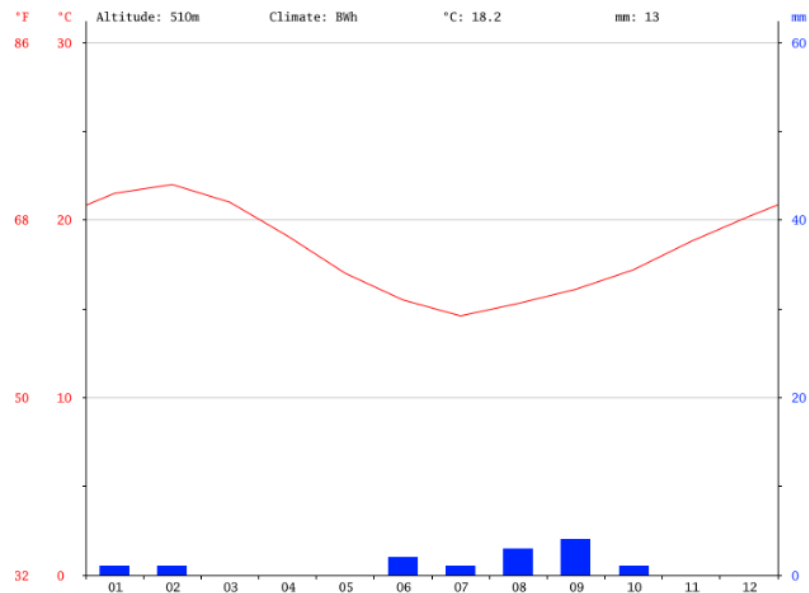


Figura 36: Estación Sama Grande
(fuente: <https://es.climate-data.org>)

TABLA CLIMÁTICA // DATOS HISTÓRICOS DEL TIEMPO

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	21.5	22	21	19.1	17	15.5	14.6	15.3	16.1	17.2	18.8	20.2
Temperatura mín. (°C)	16.2	16.4	15.4	13.2	11.5	10.3	9.4	10.3	11	12	13.5	14.7
Temperatura máx. (°C)	26.9	27.6	26.7	25	22.5	20.7	19.9	20.3	21.3	22.4	24.1	25.7
Temperatura media (°F)	70.7	71.6	69.8	66.4	62.6	59.9	58.3	59.5	61.0	63.0	65.8	68.4
Temperatura mín. (°F)	61.2	61.5	59.7	55.8	52.7	50.5	48.9	50.5	51.8	53.6	56.3	58.5
Temperatura máx. (°F)	80.4	81.7	80.1	77.0	72.5	69.3	67.8	68.5	70.3	72.3	75.4	78.3
Precipitación (mm)	1	1	0	0	0	2	1	3	4	1	0	0

Figura 37: Estación Sama Grande
(fuente: <https://es.climate-data.org>)

VALOR MÁXIMO: 4 mm/h en el mes de Setiembre

4.4.3.2 Estación Tarucachi

CLIMOGRAMA TARUCACHI

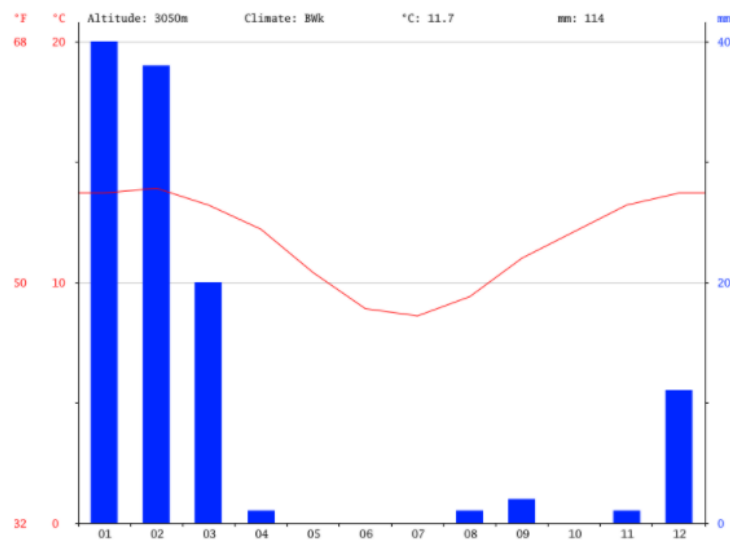


Figura 38: Estación Tarucachi
(fuente: <https://es.climate-data.org>)

TABLA CLIMÁTICA // DATOS HISTÓRICOS DEL TIEMPO

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	13.7	13.9	13.2	12.2	10.4	8.9	8.6	9.4	11	12.1	13.2	13.7
Temperatura mín. (°C)	6.5	6.8	5.9	4.2	1.9	0	-0.1	0.6	2.8	3.7	5.1	5.9
Temperatura máx. (°C)	21	21	20.6	20.3	18.9	17.8	17.3	18.2	19.3	20.5	21.4	21.6
Temperatura media (°F)	56.7	57.0	55.8	54.0	50.7	48.0	47.5	48.9	51.8	53.8	55.8	56.7
Temperatura mín. (°F)	43.7	44.2	42.6	39.6	36.4	32.0	31.8	33.1	37.0	38.7	41.2	42.6
Temperatura máx. (°F)	69.8	69.8	69.1	68.5	66.0	64.0	63.1	64.8	66.7	68.9	70.5	70.9
Precipitación (mm)	40	38	20	1	0	0	0	1	2	0	1	11

Figura 39: Estación Tarucachi
(fuente: <https://es.climate-data.org>)

VALOR MÁXIMO: 40 mm/h en el mes de Enero

4.4.3.3 Estación Yabroco

CLIMOGRAMA SUSAPAYA

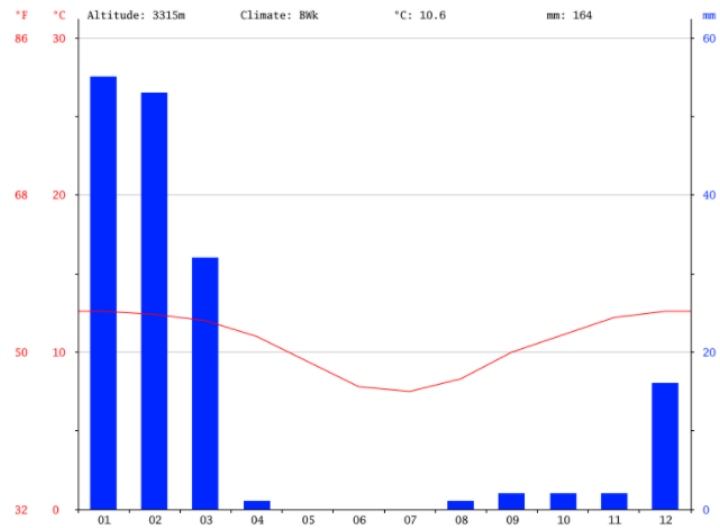


Figura 40: Estación Yabroco
(fuente: <https://es.climate-data.org>)

TABLA CLIMÁTICA // DATOS HISTÓRICOS DEL TIEMPO

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	12.6	12.4	12	11	9.4	7.8	7.5	8.3	10	11.1	12.2	12.2
Temperatura min. (°C)	5.4	5.5	4.7	3	0.9	-1.1	-1.3	-0.8	1.6	2.5	3.9	4.7
Temperatura máx. (°C)	19.8	19.4	19.4	19.1	17.9	16.8	16.4	17.3	18.4	19.7	20.5	20.5
Temperatura media (°F)	54.7	54.3	53.6	51.8	48.9	46.0	45.5	48.9	50.0	52.0	54.0	54.7
Temperatura min. (°F)	41.7	41.9	40.5	37.4	33.6	30.0	29.7	30.9	34.9	36.5	39.0	40.5
Temperatura máx. (°F)	67.6	66.9	66.9	66.4	64.2	62.2	61.5	63.1	65.1	67.5	68.9	68.9
Precipitación (mm)	55	53	32	1	0	0	0	1	2	2	2	16

Figura 41: Estación Yabroco
(fuente: <https://es.climate-data.org>)

VALOR MÁXIMO: 55 mm/h en el mes de Enero

4.4.3.4 Estación Santa Cruz

CLIMOGRAMA SANTA CRUZ

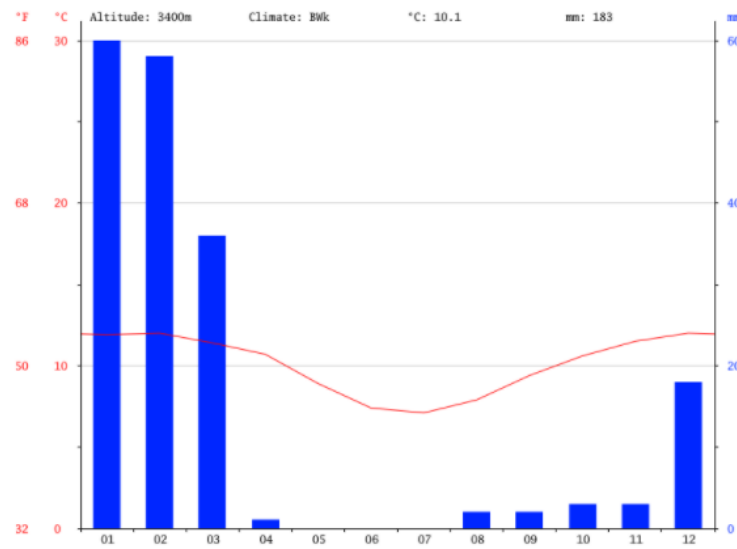


Figura 42: Estación Santa Cruz
(fuente: <https://es.climate-data.org>)

TABLA CLIMÁTICA // DATOS HISTÓRICOS DEL TIEMPO

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	11.9	12	11.4	10.7	8.9	7.4	7.1	7.9	9.4	10.6	11.5	12
Temperatura min. (°C)	4.8	5.1	4.2	2.7	0.5	-1.5	-1.7	-1.1	1	1.9	3.2	4.1
Temperatura máx. (°C)	19.1	18.9	18.7	18.7	17.4	16.4	16	17	17.9	19.3	19.9	19.9
Temperatura media (°F)	53.4	53.6	52.5	51.3	48.0	45.3	44.8	46.2	48.9	51.1	52.7	53.6
Temperatura min. (°F)	40.6	41.2	39.6	36.9	32.9	29.3	28.9	30.0	33.8	35.4	37.8	39.4
Temperatura máx. (°F)	66.4	66.0	65.7	65.7	63.3	61.5	60.8	62.8	64.2	66.7	67.8	67.8
Precipitación (mm)	60	58	36	1	0	0	0	2	2	3	3	18

Figura 43: Estación Santa Cruz
(fuente: <https://es.climate-data.org>)

VALOR MÁXIMO: 60 mm/h en el mes de Enero

4.4.3.5 Estación Camilaca

CLIMOGRAMA CAMILACA

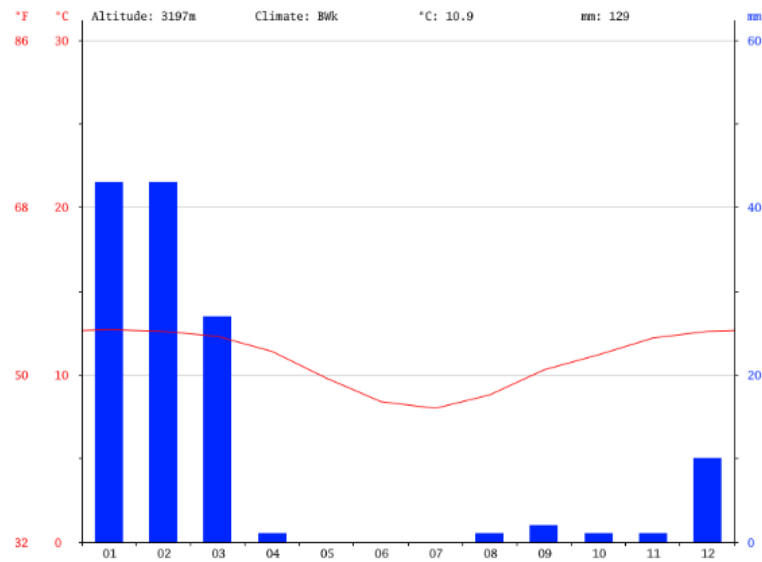


Figura 44: Estación Camilaca
(fuente: <https://es.climate-data.org>)

TABLA CLIMÁTICA // DATOS HISTÓRICOS DEL TIEMPO

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	12.7	12.6	12.3	11.4	9.8	8.4	8	8.8	10.3	11.2	12.2	12.6
Temperatura mín. (°C)	5.5	5.7	5.1	3.5	1.4	-0.4	-0.7	0	1.9	2.6	3.9	4.7
Temperatura máx. (°C)	19.9	19.6	19.5	19.3	18.2	17.2	16.8	17.7	18.7	19.8	20.5	20.5
Temperatura media (°F)	54.9	54.7	54.1	52.5	49.6	47.1	46.4	47.8	50.5	52.2	54.0	54.7
Temperatura mín. (°F)	41.9	42.3	41.2	38.3	34.5	31.3	30.7	32.0	35.4	36.7	39.0	40.5
Temperatura máx. (°F)	67.8	67.3	67.1	66.7	64.8	63.0	62.2	63.9	65.7	67.6	68.9	68.9
Precipitación (mm)	43	43	27	1	0	0	0	1	2	1	1	10

Figura 45: Estación Camilaca
(fuente: <https://es.climate-data.org>)

VALOR MÁXIMO: 60 mm/h en el mes de Enero

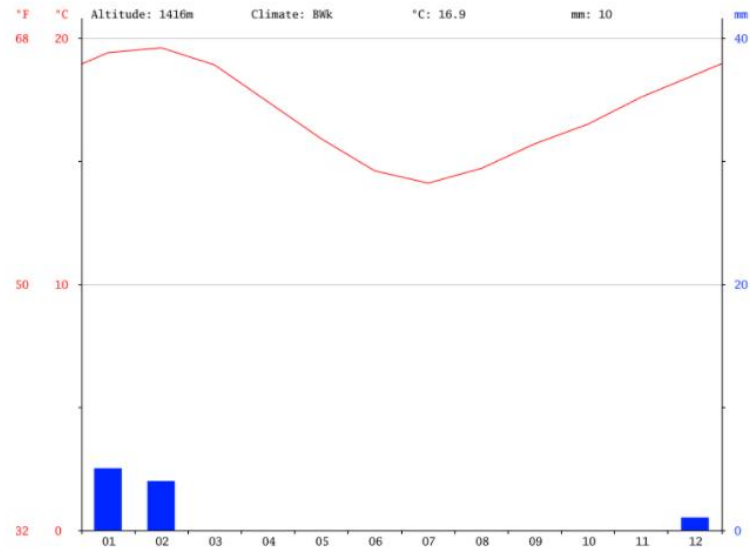
4.4.3.6 Estación Borogueña**CLIMOGRAMA ILABAYA**

Figura 46: Estación Borogueña
(fuente: <https://es.climate-data.org>)

TABLA CLIMÁTICA // DATOS HISTÓRICOS DEL TIEMPO

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	19.4	19.8	18.9	17.4	15.9	14.8	14.1	14.7	16.7	16.5	17.8	18.5
Temperatura mín. (°C)	13	13.1	12.3	10.5	8.9	7.6	7.2	8	9	9.7	10.8	11.7
Temperatura máx. (°C)	26.8	28.1	26.8	24.4	22.9	21.6	21	21.5	22.5	23.3	24.5	25.4
Temperatura media (°F)	66.9	67.3	66.0	63.3	60.6	58.3	57.4	58.5	60.3	61.7	63.7	65.3
Temperatura mín. (°F)	55.4	55.6	54.1	50.9	48.0	45.7	45.0	46.4	49.2	49.5	51.4	53.1
Temperatura máx. (°F)	78.4	79.0	78.1	75.9	73.2	70.9	69.8	70.7	72.5	73.9	76.1	77.7
Precipitación (mm)	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Figura 476: Estación Borogueña
(fuente: <https://es.climate-data.org>)

VALOR MÁXIMO: 5 mm/h en el mes de Enero

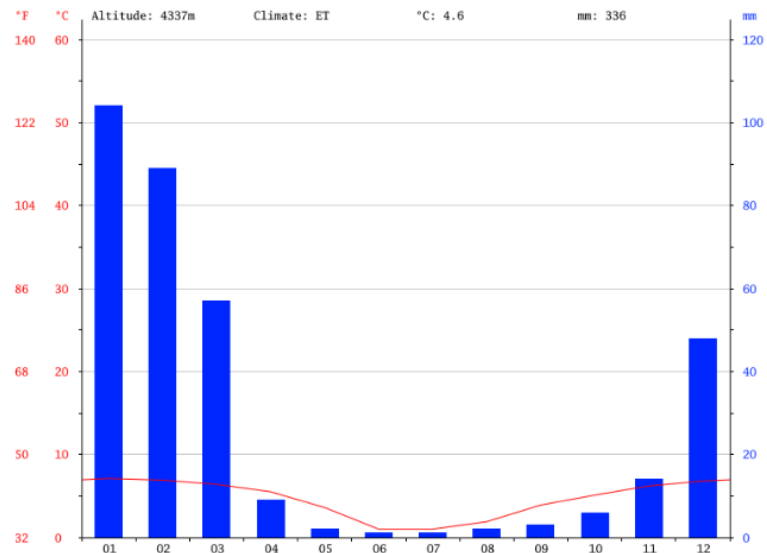
4.4.3.7 Estación Alto Perú**CLIMOGRAMA ALTO PERÚ**

Figura 48: Estación Alto Perú
(fuente: <https://es.climate-data.org>)

TABLA CLIMÁTICA // DATOS HISTÓRICOS DEL TIEMPO

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	7.1	6.9	6.4	5.5	3.6	1	1	1.9	3.9	5.1	6.2	6.8
Temperatura mín. (°C)	-0.5	-0.2	-1.6	-3.3	-5.4	-9.1	-8.6	-8.4	-5.3	-4.9	-3.2	-1.7
Temperatura máx. (°C)	14.8	14.1	14.4	14.4	12.7	11.1	10.7	12.2	13.1	15.2	15.7	16.4
Temperatura media (°F)	44.8	44.4	43.5	41.9	38.5	33.8	33.8	36.4	39.0	41.2	43.2	44.2
Temperatura mín. (°F)	31.1	31.6	29.1	26.1	22.3	15.6	16.5	16.9	22.5	23.2	26.2	28.9
Temperatura máx. (°F)	58.6	57.4	57.9	57.9	54.9	52.0	51.3	54.0	55.6	59.4	60.3	59.7
Precipitación (mm)	104	89	57	9	2	1	1	2	3	6	14	48

Figura 49: Estación Alto Perú
(fuente: <https://es.climate-data.org>)

VALOR MÁXIMO: 104 mm/h en el mes de Enero

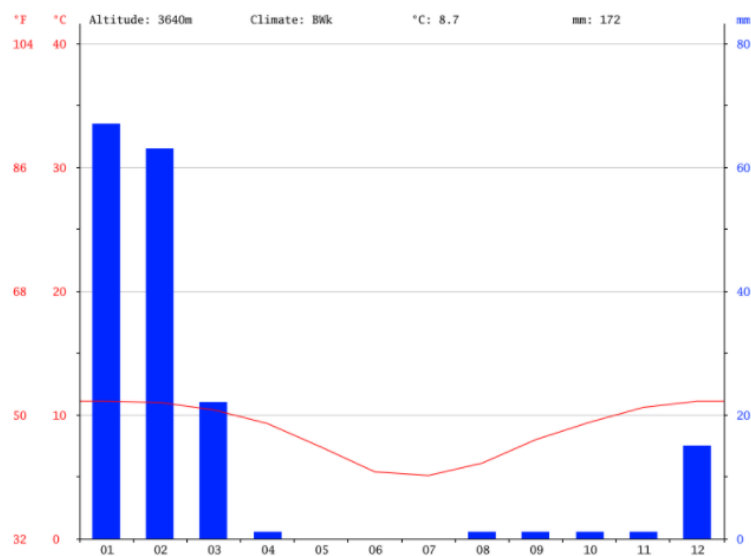
4.4.3.8 Estación Vilavilani**CLIMOGRAMA VILAVILANI**

Figura 50: Estación Vilavilani
(fuente: <https://es.climate-data.org>)

TABLA CLIMÁTICA // DATOS HISTÓRICOS DEL TIEMPO

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	11.1	11	10.4	9.3	7.4	5.4	5.1	6.1	8	9.4	10.6	11.1
Temperatura mín. (°C)	3.3	3.5	2.5	0.6	-1.7	-4.1	-4.2	-3.4	-0.8	0.1	1.8	2.6
Temperatura máx. (°C)	18.9	18.5	18.4	18.1	18.5	14.9	14.4	15.7	16.9	18.7	19.5	19.6
Temperatura media (°F)	52.0	51.8	50.7	48.7	45.3	41.7	41.2	43.0	46.4	48.9	51.1	52.0
Temperatura mín. (°F)	37.9	38.3	36.5	33.1	28.9	24.6	24.4	25.9	30.6	32.2	35.2	36.7
Temperatura máx. (°F)	66.0	65.3	65.1	64.6	61.7	58.8	57.9	60.3	62.4	65.7	67.1	67.3
Precipitación (mm)	67	63	22	1	0	0	0	1	1	1	1	15

Figura 51: Estación Vilavilani
(fuente: <https://es.climate-data.org>)

VALOR MÁXIMO: 67 mm/h en el mes de Enero

4.4.3.9 Estación Caplina-Ancoma

CLIMOGRAMA ANCOMA

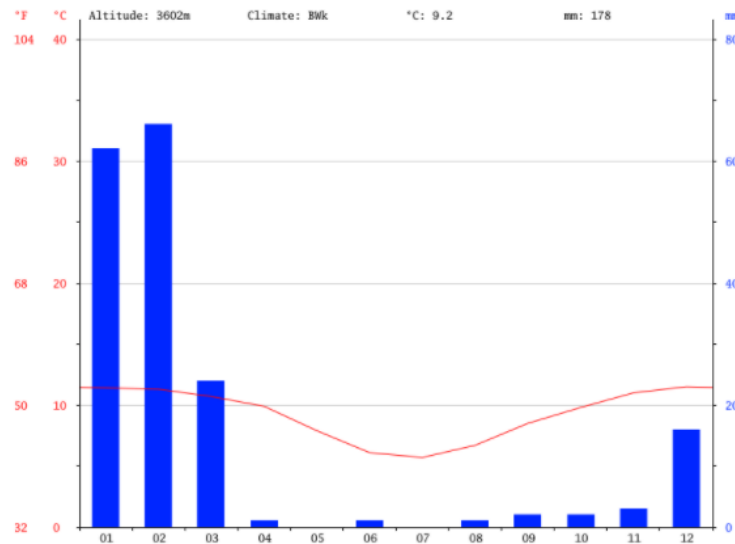


Figura 52: Estación Caplina-Ancoma
(fuente: <https://es.climate-data.org>)

TABLA CLIMÁTICA // DATOS HISTÓRICOS DEL TIEMPO

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	11.4	11.3	10.7	9.9	7.9	6.1	5.7	6.7	8.5	9.8	11	11.5
Temperatura min. (°C)	3.8	4	3	1.4	-1	-3.2	-3.5	-2.7	-0.2	0.7	2.4	3.2
Temperatura máx. (°C)	19	18.0	18.5	18.4	18.8	15.5	14.9	16.1	17.2	18.9	19.7	19.8
Temperatura media (°F)	52.5	52.3	51.3	49.8	46.2	43.0	42.3	44.1	47.3	49.6	51.8	52.7
Temperatura min. (°F)	38.8	39.2	37.4	34.5	30.2	26.2	25.7	27.1	31.6	33.3	38.3	37.8
Temperatura máx. (°F)	66.2	65.5	65.3	65.1	62.2	59.9	58.8	61.0	63.0	66.0	67.5	67.8
Precipitación (mm)	62	66	24	1	0	1	0	1	2	2	3	16

Figura 53: Estación Caplina-Ancoma
(fuente: <https://es.climate-data.org>)

VALOR MÁXIMO: 66 mm/h en el mes de Febrero

4.4.4 Cálculo de las pérdidas por precipitaciones

Los cálculos para determinar las pérdidas por precipitaciones pluviales, se efectuaron utilizando hojas de cálculo de Excel.

Así mismo, se utilizó los nomogramas para determinar los coeficientes de atenuación por lluvia YR, tanto para el up-link como para el down-link, los cuales se encuentran en el ANEXO 2.

4.4.4.1 Estación Sama Grande

TABLA 16: COORDENADAS ESTACIÓN SAMA GRANDE

LATITUD E.T (λ)	ALTITUD h0	ELEVACIÓN θ
17.7887	0.541	54.1732

TABLA 17: UP-LINK ESTACIÓN SAMA GRANDE

UP-LINK	
hF	4.8263
hR	2.8958
Ls	2.9043
LG	1.7000
r0,01	0.9298
YR up	0.15
A0.01	0.4050
L_{rain UP}	0.4073

TABLA 18: DOWN-LINK ESTACIÓN SAMA GRANDE

DOWN-LINK	
hF	4.8263
hR	2.8958
Ls	2.9043
LG	1.7000
r0,01	0.9298
YR down	0.1
A0.01	0.2700
L_{rain down}	0.2715

4.4.4.2 Estación Tarucachi

TABLA 19: COORDENADAS ESTACIÓN

LATITUD E.T (λ)	ALTITUD h0	ELEVACIÓN θ
17.526	3.062	54.764

TABLA 20: UP-LINK ESTACIÓN

UP-LINK	
hF	4.8343
hR	2.9006
Ls	0.1977
LG	0.1140
r0,01	0.9950
YR up	2
A0.01	0.3933
L_{rain UP}	0.3955

TABLA 21: DOWN-LINK ESTACIÓN

DOWN-LINK	
hF	4.8343
hR	2.9006
Ls	0.1977
LG	0.1140
r0,01	0.9950
YR down	1.7
A0.01	0.3343
L_{rain down}	0.3362

4.4.4.3 Estación Yabroco-Susapaya

TABLA 22: COORDENADAS ESTACIÓN

LATITUD E.T (λ)	ALTITUD h0	ELEVACIÓN θ
17.348	3.338	54.795

TABLA 23: UP-LINK ESTACIÓN

UP-LINK	
hF	4.8396
hR	2.9037
Ls	0.5315
LG	0.3064
r0,01	0.9866
YR up	2.9
A0.01	1.5205
L_{rain UP}	1.5290

TABLA 24: DOWN-LINK ESTACIÓN

DOWN-LINK	
hF	4.8396
hR	2.9037
Ls	0.5315
LG	0.3064
r0,01	0.9866
YR down	2.4
A0.01	1.2584
L_{rain down}	1.2654

4.4.4.4 Estación Santa Cruz

TABLA 25: COORDENADAS ESTACIÓN

LATITUD E.T (λ)	ALTITUD h0	ELEVACIÓN θ
17.271	3.438	54.760

TABLA 26: UP-LINK ESTACIÓN

UP-LINK	
hF	4.8419
hR	2.9051
Ls	0.6524
LG	0.3765
r0,01	0.9835
YR up	3.2
A0.01	2.0534
L_{rain UP}	2.0649

TABLA 27: DOWN-LINK ESTACIÓN

DOWN-LINK	
hF	4.8419
hR	2.9037
Ls	0.6524
LG	0.3765
r0,01	0.9835
YR down	2.7
A0.01	1.7326
L_{rain down}	1.7423

4.4.4.5 Estación Camilaca

TABLA 28: COORDENADAS ESTACIÓN

LATITUD E.T (λ)	ALTITUD h0	ELEVACIÓN θ
17.243	3.855	54.590

TABLA 29: UP-LINK ESTACIÓN

UP-LINK	
hF	4.8427
hR	2.9056
Ls	1.1648
LG	0.6749
r0,01	0.9709
YR up	2.2
A0.01	2.4880
L_{rain UP}	2.5019

TABLA 30: DOWN-LINK ESTACIÓN

DOWN-LINK	
hF	4.8427
hR	2.9056
Ls	1.1648
LG	0.6749
r0,01	0.9709
YR down	1.8
A0.01	2.0356
L_{rain down}	2.0470

4.4.4.6 Estación Borogueña-Illabaya

TABLA 31: COORDENADAS ESTACIÓN

LATITUD E.T (λ)	ALTITUD h_0	ELEVACIÓN θ
17.317	2.815	54.514

TABLA 32: UP-LINK ESTACIÓN

UP-LINK	
hF	4.8405
hR	2.9043
Ls	0.1097
LG	0.0637
r0,01	0.9972
YR up	0.2
A0.01	0.0219
L_{rain UP}	0.0220

TABLA 33: DOWN-LINK ESTACIÓN

DOWN-LINK	
hF	4.8405
hR	2.9043
Ls	0.1097
LG	0.0637
r0,01	0.9972
YR down	0.13
A0.01	0.0142
L_{rain down}	0.0143

4.4.4.7 Estación Alto Perú

TABLA 34: COORDENADAS ESTACIÓN

LATITUD E.T (λ)	ALTITUD h_0	ELEVACIÓN θ
17.529	4.329	55.173

TABLA 35: UP-LINK ESTACIÓN

UP-LINK	
hF	4.8342
hR	2.9005
Ls	1.7402
LG	0.9938
r0,01	0.9577
YR up	6.4
A0.01	10.6662
L_{rain UP}	10.7259

TABLA 36: DOWN-LINK ESTACIÓN

DOWN-LINK	
hF	4.8342
hR	2.9005
Ls	1.7402
LG	0.9938
r0,01	0.9577
YR down	5.3
A0.01	8.8329
L_{rain down}	8.8823

4.4.4.8 Estación Vilavilani

TABLA 37: COORDENADAS ESTACIÓN

LATITUD E.T (λ)	ALTITUD h0	ELEVACIÓN θ
17.849	3.565	54.675

TABLA 38: UP-LINK ESTACIÓN

UP-LINK	
hF	4.8245
hR	2.8947
Ls	0.8216
LG	0.4751
r0,01	0.9793
YR up	3.6
A0.01	2.8966
L_{rain UP}	2.9128

TABLA 39: DOWN-LINK ESTACIÓN

DOWN-LINK	
hF	4.8245
hR	2.8947
Ls	0.8216
LG	0.4751
r0,01	0.9793
YR down	3.2
A0.01	2.5747
L_{rain down}	2.5891

4.4.4.9 Estación Caplina-Ancoma

TABLA 40: COORDENADAS ESTACIÓN

LATITUD E.T (λ)	ALTITUD h0	ELEVACIÓN θ
17.690	3.416	54.748

TABLA 41: UP-LINK ESTACIÓN

UP-LINK	
hF	4.8293
hR	2.8976
Ls	0.6348
LG	0.3664
r0,01	0.9840
YR up	3.5
A0.01	2.1863
L_{rain UP}	2.1986

TABLA 42: DOWN-LINK ESTACIÓN

DOWN-LINK	
hF	4.8293
hR	2.8976
Ls	0.6348
LG	0.3664
r0,01	0.9840
YR down	2.6
A0.01	1.6241
L_{rain down}	1.6332

4.5 DISEÑO DEL ENLACE DE SUBIDA PARA EL ACCESO A INTERNET

4.5.1 Estación Sama Grande

1. PIRE de la estación terrena VSAT

$$P_t \text{ dBw} = 0 \text{ dBw}$$

$$G_{TX} \text{ dB} = 42.545 \text{ dB}$$

$$L_{LBO} \text{ (dB)} = 2 \text{ dB}$$

$$L_{\text{postHPA}} = 3 \text{ dB}$$

$$L_{\text{acoplo UP}} = 1.7 \text{ dB}$$

$$PIRE_{ET} \text{ dBW} = P_t \text{ dBw} + G_{TX} \text{ dB} - L_{LBO} \text{ (dB)} - L_{\text{postHPA}} \text{ (dB)} - L_{\text{acoplo UP}} \text{ dB}$$

$$PIRE_{ET} \text{ dBW} = 35.845 \text{ dBW}$$

2. Flujo de potencia

$$d_{E.T-SAT} = 36827.2 * 10^3$$

$$PIRE_{ET} \text{ dBW} = 35.845 \text{ dBW}$$

$$\Psi \text{ dB} = PIRE_{ET} \text{ dBW} - 10 \text{ Log} (4 * d^2)$$

$$\Psi \text{ dB} = 35.845 - 10 * \log [(4 * 3.1416) * (36827.2 * 10^3)^2]$$

$$\Psi \text{ dB} = -126.47 \text{ dBw/m}^2$$

3. Pérdidas en el espacio libre (L_{fs})_{UP}

$$d_{E.T-SAT} = 36827.2 \text{ kms}$$

$$f_{UP} = 14.390 \text{ GHz}$$

$$L_{fs \text{ UP}} \text{ dB} = 92.4 + 20 * \log (d_{E.T-SAT}) \text{ Km} + 20 * \text{Log} (f_{UP}) \text{ GHz}$$

$$L_{fs \text{ UP}} \text{ dB} = 92.4 + 20 * \log (36827.2) \text{ Km} + 20 * \text{Log} (14.390) \text{ GHz}$$

$$L_{fs \text{ UP}} = 206.8846 \text{ dB}$$

4. Pérdidas totales

$$L_{\text{rain UP}} = 0.4073 \text{ dB (ver pérdidas por lluvias)}$$

$$L_{fs \text{ UP}} = 206.8846 \text{ dB}$$

$$L_{\text{total UP}} = L_{fs \text{ UP}} + L_{\text{rain UP}}$$

$$L_{\text{total UP}} = 207.292 \text{ dB}$$

5. Ganancia de la antena de recepción del satélite

$$D = 1.0 \text{ metros}$$

$$f_{\text{UP}} = 14.390 \text{ GHz}$$

$$G_{\text{sat dB}} = 20 \log (f(\text{MHz})) + 20 \log D(\text{mts}) - 42.2$$

$$G_{\text{sat dB}} = 20 \log (14390) + 20 \log (1.0) - 42.2$$

$$G_{\text{sat dB}} = 40.961 \text{ dB}$$

6. Figura de mérito $(G/T)_{\text{SAT}}$

$$G_{\text{sat dB}} = 40.961 \text{ dB}$$

$$T_{\text{SIS Tx}} (^{\circ}\text{K}) = 990^{\circ}$$

$$L_{\text{point UP}} = 0.006 \text{ dB}$$

$$L_{\text{go UP}} = 1.5 \text{ dB}$$

$$(G/T)_{\text{SAT}} = G_{\text{sat}} - T_{\text{SIS Tx}} - L_{\text{point up}} - L_{\text{go UP}}$$

$$(G/T)_{\text{SAT}} = 9.499 \text{ dB}$$

7. Relación $(C/T)_{\text{UP}}$

$$\text{PIRE}_{\text{ET dBW}} = 35.845 \text{ dBW}$$

$$L_{\text{total UP}} = 207.292 \text{ dB}$$

$$(G/T)_{\text{SAT}} = 9.499 \text{ dB}$$

$$(C/T)_{\text{UP}} = \text{PIRE}_{\text{ET dBW}} - L_{\text{total UP}} + (G/T)_{\text{SAT}}$$

$$(C/T)_{\text{UP}} = -161.948 \text{ dBW/}^{\circ}\text{K}$$

8. Relación $(C/No)_{\text{UP}}$

$$(C/T)_{\text{UP}} = -161.948 \text{ dBW/}^{\circ}\text{K}$$

$$K \text{ dBW/Hz} - ^{\circ}\text{K} = -228.6 \text{ dBW/Hz} - ^{\circ}\text{K}$$

$$(C/No)_{\text{UP}} = (C/T)_{\text{UP dBW/}^{\circ}\text{K}} - K \text{ dBW/Hz} - ^{\circ}\text{K}$$

$$(C/No)_{\text{UP}} = -161.948 \text{ dBW/}^{\circ}\text{K} - (-228.6 \text{ dBW/Hz} - ^{\circ}\text{K})$$

$$(C/No)_{\text{UP}} = 66.652 \text{ dB/Hz}$$

9. Relación $(E_b/N_o)_{UP}$

$$R_b = 76.8 \text{ kbps} \quad (\text{modulación MSK})$$

$$(C/N_o)_{UP} = 66.652 \text{ dB/Hz}$$

$$(E_b/N_o)_{UP} = (C/N_o)_{UP} - 10 \text{ Log} (R_b)$$

$$(E_b/N_o)_{UP} = 66.652 - 48.854$$

$$(E_b/N_o)_{UP} = \mathbf{17.798 \text{ dB}}$$

4.5.2 Estación Tarucachi

1. PIRE de la estación terrena VSAT

$$P_t \text{ dBw} = 0 \text{ dBw}$$

$$G_{TX} \text{ dB} = 42.545 \text{ dB}$$

$$L_{BO} \text{ (dB)} = 2 \text{ dB}$$

$$L_{postHPA} = 3 \text{ dB}$$

$$L_{acoplo UP} = 1.7 \text{ dB}$$

$$PIRE_{ET} \text{ dBw} = P_t \text{ dBw} + G_{TX} \text{ dB} - L_{BO} \text{ (dB)} - L_{postHPA} \text{ (dB)} -$$

$$L_{acoplo UP} \text{ dB}$$

$$PIRE_{ET} \text{ dBw} = \mathbf{35.845 \text{ dBw}}$$

2. Flujo de potencia

$$d = 36793.722 * 10^3$$

$$\Psi \text{ dB} = PIRE_{ET} \text{ dBw} - 10 \text{ Log} (4\pi d^2)$$

$$\Psi \text{ dB} = 35.845 - 10 * \log [(4 * 3.1416) * (36793.722 * 10^3)^2]$$

$$\Psi \text{ dB} = \mathbf{-126.46 \text{ dBw/m}^2}$$

3. Pérdidas en el espacio libre $(L_{fs})_{UP}$

$$d_{E.T-SAT} = 36793.722 \text{ kms}$$

$$f_{UP} = 14.390 \text{ GHz}$$

$$L_{fs UP} \text{ dB} = 92.4 + 20 * \log (d_{E.T-SAT}) \text{ Km} + 20 * \text{Log} (f_{UP}) \text{ GHz}$$

$$L_{fs UP} \text{ dB} = 92.4 + 20 * \log (36793.722) \text{ Km} + 20 * \text{Log} (14.390) \text{ GHz}$$

$$L_{fs UP} = \mathbf{206.8767 \text{ dB}}$$

4. Pérdidas totales

$$L_{\text{rain UP}} = 0.3955 \text{ dB (ver pérdidas por lluvias)}$$

$$L_{\text{fs UP}} = 206.8767 \text{ dB}$$

$$L_{\text{total UP}} = L_{\text{fs UP}} + L_{\text{rain UP}}$$

$$\mathbf{L_{\text{total UP}} = 207.272 \text{ dB}}$$

5. Ganancia de la antena de recepción del satélite

$$D = 1.0 \text{ metros}$$

$$f = 14.390 \text{ GHz}$$

$$G_{\text{sat dB}} = 20 \log (f(\text{MHz})) + 20^* \log D(\text{mts}) - 42.2$$

$$G_{\text{sat dB}} = 20 \log (14390) + 20^* \log (1.0) - 42.2$$

$$\mathbf{G_{\text{sat dB}} = 40.961 \text{ dB}}$$

6. Figura de mérito $(G/T)_{\text{SAT}}$

$$G_{\text{sat dB}} = 40.961 \text{ dB}$$

$$T_{\text{SIS Tx}} (^{\circ}\text{K}) = 990^{\circ}$$

$$L_{\text{point UP}} = 0.006 \text{ dB}$$

$$L_{\text{go UP}} = 1.5 \text{ dB}$$

$$(G/T)_{\text{SAT}} = G_{\text{sat}} - T_{\text{SIS Tx}} - L_{\text{point}} - L_{\text{go}}$$

$$\mathbf{(G/T)_{\text{SAT}} = 9.499 \text{ dB}}$$

7. Relación $(C/T)_{\text{UP}}$

$$\text{PIRE}_{\text{ET dBW}} = 35.845 \text{ dBW}$$

$$L_{\text{total UP}} = 207.272 \text{ dB}$$

$$(G/T)_{\text{SAT}} = 9.499 \text{ dB}$$

$$(C/T)_{\text{UP}} = \text{PIRE}_{\text{ET dBW}} - L_{\text{total UP}} + (G/T)_{\text{SAT}}$$

$$\mathbf{(C/T)_{\text{UP}} = -161.928 \text{ dBW}/^{\circ}\text{K}}$$

8. Relación $(C/No)_{\text{UP}}$

$$(C/No)_{\text{UP}} = (C/T)_{\text{UP dBW}/^{\circ}\text{K}} - K \text{ dBW/Hz} - ^{\circ}\text{K}$$

$$(C/No)_{\text{UP}} = -161.928 \text{ dBW}/^{\circ}\text{K} - (-228.6 \text{ dBW/Hz} - ^{\circ}\text{K})$$

$$(C/No)_{UP} = 66.672 \text{ dB/Hz}$$

9. Relación $(Eb/No)_{UP}$

$$R_b = 76.8 \text{ kbps} \quad (\text{modulación MSK})$$

$$(C/No)_{UP} = 66.672 \text{ dB/Hz}$$

$$(Eb/No)_{UP} = (C/No)_{UP} - 10 \text{ Log} (R_b)$$

$$(Eb/No)_{UP} = 66.672 - 48.854$$

$$(Eb/No)_{UP} = 17.818 \text{ dB}$$

4.5.3 Estación Yabroco-Susapaya

1. PIRE de la estación terrena VSAT

$$P_t \text{ dBw} = 0 \text{ dBw}$$

$$G_{TX} \text{ dB} = 42.545 \text{ dB}$$

$$L_{BO} \text{ (dB)} = 2 \text{ dB}$$

$$L_{postHPA} = 3 \text{ dB}$$

$$L_{acoplo UP} = 1.7 \text{ dB}$$

$$PIRE_{ET} \text{ dBw} = P_t \text{ dBw} + G_{TX} \text{ dB} - L_{BO} \text{ (dB)} - L_{postHPA} \text{ (dB)} - L_{acoplo UP} \text{ dB}$$

$$PIRE_{ET} \text{ dBw} = 35.845 \text{ dBw}$$

2. Flujo de potencia

$$d = 36791.953 * 10^3$$

$$\Psi \text{ dB} = PIRE_{ET} \text{ dBw} - 10 \text{ Log} (4 * d^2)$$

$$\Psi \text{ dB} = 35.845 - 10 * \log [(4 * 3.1416) * (36791.953 * 10^3)^2]$$

$$\Psi \text{ dB} = -126.46 \text{ dBw/m}^2$$

3. Pérdidas en el espacio libre $(L_{fs})_{UP}$

$$d_{E.T-SAT} = 36791.953 \text{ kms}$$

$$f_{UP} = 14.390 \text{ GHz}$$

$$L_{fs UP} \text{ dB} = 92.4 + 20 * \log (d_{E.T-SAT}) \text{ Km} + 20 * \text{Log} (f_{UP}) \text{ GHz}$$

$$L_{fs\ UP\ dB} = 92.4 + 20 * \log (36791.953)_{Km} + 20 * \log (14.390)_{GHz}$$

$$L_{fs\ UP} = \mathbf{206.8763\ dB}$$

4. Pérdidas totales

$$L_{fs\ UP} = 206.8763\ dB$$

$$L_{rain\ UP} = 1.5290\ dB$$

$$L_{total\ UP} = L_{fs\ UP} + L_{rain\ UP}$$

$$L_{total\ UP} = \mathbf{208.405\ dB}$$

5. Ganancia de la antena de recepción del satélite

$$D = 1.0\ metros$$

$$f = 14.390\ GHz$$

$$G_{sat\ dB} = 20 \log (f(MHz)) + 20 * \log D(mts) - 42.2$$

$$G_{sat\ dB} = 20 \log (14390) + 20 * \log (1.0) - 42.2$$

$$G_{sat\ dB} = \mathbf{40.961\ dB}$$

6. Figura de mérito (G/T)_{SAT}

$$(G/T)_{SAT} = G_{sat} - T_{SIS\ Tx} - L_{point} - L_{go}$$

$$(G/T)_{SAT} = \mathbf{9.499\ dB}$$

7. Relación (C/T)_{UP}

$$PIRE_{ET\ dBW} = 35.845\ dBW$$

$$L_{total\ UP} = 208.405\ dB$$

$$(G/T)_{SAT} = 9.499\ dB$$

$$(C/T)_{UP} = PIRE_{ET\ dBW} - L_{total\ UP} + (G/T)_{SAT}$$

$$(C/T)_{UP} = \mathbf{-163.061\ dBW/^{\circ}K}$$

8. Relación (C/No)_{UP}

$$(C/No)_{UP} = (C/T)_{UP\ dBW/^{\circ}K} - K\ dBW/Hz - ^{\circ}K$$

$$(C/No)_{UP} = -163.061 - (-228.6\ dBW/Hz - ^{\circ}K)$$

$$(C/No)_{UP} = 65.539 \text{ dB/Hz}$$

9. Relación $(Eb/No)_{UP}$

$$R_b = 76.8 \text{ kbps} \quad (\text{modulación MSK})$$

$$(C/No)_{UP} = 65.539 \text{ dB/Hz}$$

$$(Eb/No)_{UP} = (C/No)_{UP} - 10 \text{ Log} (R_b)$$

$$(Eb/No)_{UP} = 65.539 - 48.854$$

$$(Eb/No)_{UP} = 16.685 \text{ dB}$$

4.5.4 Estación Santa Cruz

1. PIRE de la estación terrena VSAT

$$P_t \text{ dBw} = 0 \text{ dBw}$$

$$G_{TX} \text{ dB} = 42.545 \text{ dB}$$

$$L_{BO} \text{ (dB)} = 2 \text{ dB}$$

$$L_{postHPA} = 3 \text{ dB}$$

$$L_{acoplo UP} = 1.7 \text{ dB}$$

$$PIRE_{ET} \text{ dBw} = P_t \text{ dBw} + G_{TX} \text{ dB} - L_{BO} \text{ (dB)} - L_{postHPA} \text{ (dB)} - L_{acoplo UP} \text{ dB}$$

$$PIRE_{ET} \text{ dBw} = 35.845 \text{ dBw}$$

2. Flujo de potencia

$$d = 36793.910 * 10^3$$

$$\Psi \text{ dB} = PIRE_{ET} \text{ dBw} - 10 \text{ Log} (4 * d^2)$$

$$\Psi \text{ dB} = 35.845 - 10 * \log [(4 * 3.1416) * (36793.910 * 10^3)^2]$$

$$\Psi \text{ dB} = -126.46 \text{ dBw/m}^2$$

3. Pérdidas en el espacio libre $(L_{fs})_{UP}$

$$d_{E.T-SAT} = 36793.910 \text{ kms}$$

$$f_{UP} = 14.390 \text{ GHz}$$

$$L_{fs UP} \text{ dB} = 92.4 + 20 * \log (d_{E.T-SAT}) \text{ Km} + 20 * \text{Log} (f_{UP}) \text{ GHz}$$

$$L_{fs \text{ UP}} \text{ dB} = 92.4 + 20 * \log (36793.910)_{\text{Km}} + 20 * \text{Log} (14.390)_{\text{GHz}}$$

$$L_{fs \text{ UP}} = 206.8767 \text{ dB}$$

4. Pérdidas totales

$$L_{fs \text{ UP}} = 206.8767 \text{ dB}$$

$$L_{rain \text{ UP}} = 2.0649 \text{ dB}$$

$$L_{total \text{ UP}} = L_{fs \text{ UP}} + L_{rain \text{ UP}}$$

$$L_{total \text{ UP}} = 208.942 \text{ dB}$$

5. Ganancia de la antena de recepción del satélite

$$D = 1.0 \text{ metros}$$

$$f = 14.390 \text{ GHz}$$

$$G_{sat \text{ dB}} = 20 \log (f(\text{MHz})) + 20 * \log D(\text{mts}) - 42.2$$

$$G_{sat \text{ dB}} = 20 \log (14390) + 20 * \log (1.0) - 42.2$$

$$G_{sat \text{ dB}} = 40.961 \text{ dB}$$

6. Figura de mérito $(G/T)_{SAT}$

$$(G/T)_{SAT} = G_{sat} - T_{SIS \text{ Tx}} - L_{point} - L_{go}$$

$$(G/T)_{SAT} = 9.499 \text{ dB}$$

7. Relación $(C/T)_{UP}$

$$PIRE_{ET \text{ dBW}} = 35.845 \text{ dBW}$$

$$L_{total \text{ UP}} = 208.942 \text{ dB}$$

$$(G/T)_{SAT} = 9.499 \text{ dB}$$

$$(C/T)_{UP} = PIRE_{ET \text{ dBW}} - L_{total \text{ UP}} + (G/T)_{SAT}$$

$$(C/T)_{UP} = -163.598 \text{ dBW/}^\circ\text{K}$$

8. Relación $(C/No)_{UP}$

$$(C/No)_{UP} = (C/T)_{UP \text{ dBW/}^\circ\text{K}} - K \text{ dBW/Hz} - ^\circ\text{K}$$

$$(C/No)_{UP} = -163.598 \text{ dBW/}^\circ\text{K} - (-228.6 \text{ dBW/Hz} - ^\circ\text{K})$$

$$(C/No)_{UP} = 65.002 \text{ dB/Hz}$$

9. Relación $(E_b/No)_{UP}$

$$R_b = 76.8 \text{ kbps} \quad (\text{modulación MSK})$$

$$(C/No)_{UP} = 65.002 \text{ dB/Hz}$$

$$(E_b/No)_{UP} = (C/No)_{UP} - 10 \text{ Log} (R_b)$$

$$(E_b/No)_{UP} = 65.002 - 48.854$$

$$(E_b/No)_{UP} = 16.149 \text{ dB}$$

4.5.5 Estación Camilaca

1. PIRE de la estación terrena VSAT

$$P_t \text{ dBw} = 0 \text{ dBw}$$

$$G_{TX} \text{ dB} = 42.545 \text{ dB}$$

$$L_{iBO} \text{ (dB)} = 2 \text{ dB}$$

$$L_{postHPA} = 3 \text{ dB}$$

$$L_{acoplo UP} = 1.7 \text{ dB}$$

$$PIRE_{ET} \text{ dBw} = P_t \text{ dBw} + G_{TX} \text{ dB} - L_{iBO} \text{ (dB)} - L_{postHPA} \text{ (dB)} - L_{acoplo UP} \text{ dB}$$

$$PIRE_{ET} \text{ dBw} = 35.845 \text{ dBw}$$

2. Flujo de potencia

$$d = 36803.496 * 10^3$$

$$\Psi \text{ dB} = PIRE_{ET} \text{ dBw} - 10 \text{ Log} (4 * d^2)$$

$$\Psi \text{ dB} = 35.845 - 10 * \log [(4 * 3.1416) * (36803.496 * 10^3)^2]$$

$$\Psi \text{ dB} = -126.47 \text{ dBw/m}^2$$

3. Pérdidas en el espacio libre $(L_{fs})_{UP}$

$$d_{E.T-SAT} = 36803.496 \text{ kms}$$

$$f_{UP} = 14.390 \text{ GHz}$$

$$L_{fs UP} \text{ dB} = 92.4 + 20 * \log (d_{E.T-SAT}) \text{ Km} + 20 * \text{Log} (f_{UP}) \text{ GHz}$$

$$L_{fs\ UP\ dB} = 92.4 + 20 * \log (36803.496)_{Km} + 20 * \log (14.390)_{GHz}$$

$$L_{fs\ UP} = 206.8790\ dB$$

4. Pérdidas totales

$$L_{fs\ UP} = 206.8790\ dB$$

$$L_{rain\ UP} = 2.5019\ dB$$

$$L_{total\ UP} = L_{fs\ UP} + L_{rain\ UP}$$

$$L_{total\ UP} = 209.381\ dB$$

5. Ganancia de la antena de recepción del satélite

$$D = 1.0\ metros$$

$$f = 14.390\ GHz$$

$$G_{sat\ dB} = 20 \log (f(MHz)) + 20 * \log D(mts) - 42.2$$

$$G_{sat\ dB} = 20 \log (14390) + 20 * \log (1.0) - 42.2$$

$$G_{sat\ dB} = 40.961\ dB$$

6. Figura de mérito (G/T)_{SAT}

$$(G/T)_{SAT} = G_{sat} - T_{SIS\ Tx} - L_{point} - L_{go}$$

$$(G/T)_{SAT} = 9.499\ dB$$

7. Relación (C/T)_{UP}

$$PIRE_{ET\ dBW} = 35.845\ dBW$$

$$L_{total\ UP} = 209.381\ dB$$

$$(G/T)_{SAT} = 9.499\ dB$$

$$(C/T)_{UP} = PIRE_{ET\ dBW} - L_{total\ UP} + (G/T)_{SAT}$$

$$(C/T)_{UP} = -161.948\ dBW/^{\circ}K$$

8. Relación (C/No)_{UP}

$$(C/No)_{UP} = (C/T)_{UP\ dBW/^{\circ}K} - K\ dBW/Hz - ^{\circ}K$$

$$(C/No)_{UP} = -164.037\ dBW/^{\circ}K - (-228.6\ dBW/Hz - ^{\circ}K)$$

$$(C/No)_{UP} = 64.563 \text{ dB/Hz}$$

9. Relación $(Eb/No)_{UP}$

$$R_b = 76.8 \text{ kbps} \quad (\text{modulación MSK})$$

$$(C/No)_{UP} = 64.563 \text{ dB/Hz}$$

$$(Eb/No)_{UP} = (C/No)_{UP} - 10 \text{ Log} (R_b)$$

$$(Eb/No)_{UP} = 64.563 - 48.854$$

$$(Eb/No)_{UP} = 15.709 \text{ dB}$$

4.5.6 Estación Borogueña-Illabaya

1. PIRE de la estación terrena VSAT

$$P_t \text{ dBw} = 0 \text{ dBw}$$

$$G_{TX} \text{ dB} = 42.545 \text{ dB}$$

$$L_{LBO} \text{ (dB)} = 2 \text{ dB}$$

$$L_{\text{postHPA}} = 3 \text{ dB}$$

$$L_{\text{acoplo UP}} = 1.7 \text{ dB}$$

$$PIRE_{ET} \text{ dBW} = P_t \text{ dBw} + G_{TX} \text{ dB} - L_{LBO} \text{ (dB)} - L_{\text{postHPA}} \text{ (dB)} -$$

$$L_{\text{acoplo UP}} \text{ dB}$$

$$PIRE_{ET} \text{ dBW} = 35.845 \text{ dBw}$$

2. Flujo de potencia

$$d = 36807.790 * 10^3$$

$$\Psi \text{ dB} = PIRE_{ET} \text{ dBW} - 10 \text{ Log} (4 * d^2)$$

$$\Psi \text{ dB} = 35.845 - 10 * \log [(4 * 3.1416) * (36807.790 * 10^3)^2]$$

$$\Psi \text{ dB} = -126.47 \text{ dBw/m}^2$$

3. Pérdidas en el espacio libre $(L_{fs})_{UP}$

$$d_{E.T-SAT} = 36807.790 \text{ kms}$$

$$f_{UP} = 14.390 \text{ GHz}$$

$$L_{fs \text{ UP}} \text{ dB} = 92.4 + 20 * \log (d_{E.T-SAT}) \text{ Km} + 20 * \text{Log} (f_{UP}) \text{ GHz}$$

$$L_{fs\ UP\ dB} = 92.4 + 20 * \log (36807.790)_{Km} + 20 * \log (14.390)_{GHz}$$

$$L_{fs\ UP} = \mathbf{206.8800\ dB}$$

4. Pérdidas totales

$$L_{fs\ UP} = 206.8800\ dB$$

$$L_{rain\ UP} = 0.0220\ dB$$

$$L_{total\ UP} = L_{fs\ UP} + L_{rain\ UP}$$

$$L_{total\ UP} = \mathbf{206.902\ dB}$$

5. Ganancia de la antena de recepción del satélite

$$D = 1.0\ metros$$

$$f = 14.390\ GHz$$

$$G_{sat\ dB} = 20 \log (f(MHz)) + 20 * \log D(mts) - 42.2$$

$$G_{sat\ dB} = 20 \log (14390) + 20 * \log (1.0) - 42.2$$

$$G_{sat\ dB} = \mathbf{40.961\ dB}$$

6. Figura de mérito (G/T)_{SAT}

$$(G/T)_{SAT} = G_{sat} - T_{SIS\ Tx} - L_{point} - L_{go}$$

$$(G/T)_{SAT} = \mathbf{9.499\ dB}$$

7. Relación (C/T)_{UP}

$$PIRE_{ET\ dBW} = 35.845\ dBW$$

$$L_{total\ UP} = 206.902\ dB$$

$$(G/T)_{SAT} = 9.499\ dB$$

$$(C/T)_{UP} = PIRE_{ET\ dBW} - L_{total\ UP} + (G/T)_{SAT}$$

$$(C/T)_{UP} = \mathbf{-161.558\ dBW/^{\circ}K}$$

8. Relación (C/No)_{UP}

$$(C/No)_{UP} = (C/T)_{UP\ dBW/^{\circ}K} - K\ dBW/Hz - ^{\circ}K$$

$$(C/No)_{UP} = -161.558\ dBW/^{\circ}K - (-228.6\ dBW/Hz - ^{\circ}K)$$

$$(C/No)_{UP} = 67.042 \text{ dB/Hz}$$

9. Relación $(Eb/No)_{UP}$

$$R_b = 76.8 \text{ kbps} \quad (\text{modulación MSK})$$

$$(C/No)_{UP} = 67.042 \text{ dB/Hz}$$

$$(Eb/No)_{UP} = (C/No)_{UP} - 10 \text{ Log} (R_b)$$

$$(Eb/No)_{UP} = 67.042 - 48.854$$

$$(Eb/No)_{UP} = 18.188 \text{ dB}$$

4.5.7 Estación Alto Perú

1. PIRE de la estación terrena VSAT

$$P_t \text{ dBw} = 0 \text{ dBw}$$

$$G_{TX} \text{ dB} = 42.545 \text{ dB}$$

$$L_{iBO} \text{ (dB)} = 2 \text{ dB}$$

$$L_{postHPA} = 3 \text{ dB}$$

$$L_{acoplo UP} = 1.7 \text{ dB}$$

$$PIRE_{ET} \text{ dBw} = P_t \text{ dBw} + G_{TX} \text{ dB} - L_{iBO} \text{ (dB)} - L_{postHPA} \text{ (dB)} - L_{acoplo UP} \text{ dB}$$

$$PIRE_{ET} \text{ dBw} = 35.845 \text{ dBw}$$

2. Flujo de potencia

$$d = 36770.822 * 10^3$$

$$\Psi \text{ dB} = PIRE_{ET} \text{ dBw} - 10 \text{ Log} (4 * d^2)$$

$$\Psi \text{ dB} = 35.845 - 10 * \log [(4 * 3.1416) * (36770.822 * 10^3)^2]$$

$$\Psi \text{ dB} = -126.46 \text{ dBw/m}^2$$

3. Pérdidas en el espacio libre $(L_{fs})_{UP}$

$$d_{E.T-SAT} = 36770.822 \text{ kms}$$

$$f_{UP} = 14.390 \text{ GHz}$$

$$L_{fs UP} \text{ dB} = 92.4 + 20 * \log (d_{E.T-SAT}) \text{ Km} + 20 * \text{Log} (f_{UP}) \text{ GHz}$$

$$L_{fs\ UP\ dB} = 92.4 + 20 * \log (36770.822)_{Km} + 20 * \log (14.390)_{GHz}$$

$$L_{fs\ UP} = 206.8713\ dB$$

4. Pérdidas totales

$$L_{fs\ UP} = 206.8713\ dB$$

$$L_{rain\ UP} = 10.7259\ dB$$

$$L_{total\ UP} = L_{fs\ UP} + L_{rain\ UP}$$

$$L_{total\ UP} = 217.597\ dB$$

5. Ganancia de la antena de recepción del satélite

$$D = 1.0\ metros$$

$$f = 14.390\ GHz$$

$$G_{sat\ dB} = 20 \log (f(MHz)) + 20 * \log D(mts) - 42.2$$

$$G_{sat\ dB} = 20 \log (14390) + 20 * \log (1.0) - 42.2$$

$$G_{sat\ dB} = 40.961\ dB$$

6. Figura de mérito (G/T)_{SAT}

$$(G/T)_{SAT} = G_{sat} - T_{SIS\ Tx} - L_{point} - L_{go}$$

$$(G/T)_{SAT} = 9.499\ dB$$

7. Relación (C/T)_{UP}

$$PIRE_{ET\ dBW} = 35.845\ dBW$$

$$L_{total\ UP} = 217.597\ dB$$

$$(G/T)_{SAT} = 9.499\ dB$$

$$(C/T)_{UP} = PIRE_{ET\ dBW} - L_{total\ UP} + (G/T)_{SAT}$$

$$(C/T)_{UP} = -172.253\ dBW/^{\circ}K$$

8. Relación (C/No)_{UP}

$$(C/No)_{UP} = (C/T)_{UP\ dBW/^{\circ}K} - K\ dBW/Hz - ^{\circ}K$$

$$(C/No)_{UP} = -172.253\ dBW/^{\circ}K - (-228.6\ dBW/Hz - ^{\circ}K)$$

$$(C/No)_{UP} = 56.347 \text{ dB/Hz}$$

9. Relación $(Eb/No)_{UP}$

$$R_b = 76.8 \text{ kbps} \quad (\text{modulación MSK})$$

$$(C/No)_{UP} = 56.347 \text{ dB/Hz}$$

$$(Eb/No)_{UP} = (C/No)_{UP} - 10 \text{ Log} (R_b)$$

$$(Eb/No)_{UP} = 56.347 - 48.854$$

$$(Eb/No)_{UP} = 7.493 \text{ dB}$$

4.5.8 Estación Vilavilani

1. PIRE de la estación terrena VSAT

$$P_t \text{ dBw} = 0 \text{ dBw}$$

$$G_{TX} \text{ dB} = 42.545 \text{ dB}$$

$$L_{LBO} \text{ (dB)} = 2 \text{ dB}$$

$$L_{\text{postHPA}} = 3 \text{ dB}$$

$$L_{\text{acoplo UP}} = 1.7 \text{ dB}$$

$$PIRE_{ET} \text{ dBW} = P_t \text{ dBw} + G_{TX} \text{ dB} - L_{LBO} \text{ (dB)} - L_{\text{postHPA}} \text{ (dB)} - L_{\text{acoplo UP}} \text{ dB}$$

$$PIRE_{ET} \text{ dBW} = 35.845 \text{ dBW}$$

2. Flujo de potencia

$$d = 36798.705 \cdot 10^3$$

$$\Psi \text{ dB} = PIRE_{ET} \text{ dBW} - 10 \text{ Log} (4 \pi d^2)$$

$$\Psi \text{ dB} = 35.845 - 10 \cdot \log [(4 \cdot 3.1416) \cdot (36798.705 \cdot 10^3)^2]$$

$$\Psi \text{ dB} = -126.46 \text{ dBw/m}^2$$

3. Pérdidas en el espacio libre $(L_{fs})_{UP}$

$$d_{E.T-SAT} = 36798.705 \text{ kms}$$

$$f_{UP} = 14.390 \text{ GHz}$$

$$L_{fs_{UP}} \text{ dB} = 92.4 + 20 \cdot \log (d_{E.T-SAT}) \text{ Km} + 20 \cdot \text{Log} (f_{UP}) \text{ GHz}$$

$$L_{fs\ UP\ dB} = 92.4 + 20 * \log (36798.705)_{Km} + 20 * \log (14.390)_{GHz}$$

$$L_{fs\ UP} = 206.8779\ dB$$

4. Pérdidas totales

$$L_{fs\ UP} = 206.8779\ dB$$

$$L_{rain\ UP} = 2.9128\ dB$$

$$L_{total\ UP} = L_{fs\ UP} + L_{rain\ UP}$$

$$L_{total\ UP} = 209.791\ dB$$

5. Ganancia de la antena de recepción del satélite

$$D = 1.0\ metros$$

$$f = 14.390\ GHz$$

$$G_{sat\ dB} = 20 \log (f(MHz)) + 20 * \log D(mts) - 42.2$$

$$G_{sat\ dB} = 20 \log (14390) + 20 * \log (1.0) - 42.2$$

$$G_{sat\ dB} = 40.961\ dB$$

6. Figura de mérito (G/T)_{SAT}

$$(G/T)_{SAT} = G_{sat} - T_{SIS\ Tx} - L_{point} - L_{go}$$

$$(G/T)_{SAT} = 9.499\ dB$$

7. Relación (C/T)_{UP}

$$PIRE_{ET\ dBW} = 35.845\ dBW$$

$$L_{total\ UP} = 209.791\ dB$$

$$(G/T)_{SAT} = 9.499\ dB$$

$$(C/T)_{UP} = PIRE_{ET\ dBW} - L_{total\ UP} + (G/T)_{SAT}$$

$$(C/T)_{UP} = -164.447\ dBW/^{\circ}K$$

8. Relación (C/No)_{UP}

$$(C/No)_{UP} = (C/T)_{UP\ dBW/^{\circ}K} - K\ dBW/Hz - ^{\circ}K$$

$$(C/No)_{UP} = -164.447\ dBW/^{\circ}K - (-228.6\ dBW/Hz - ^{\circ}K)$$

$$(C/No)_{UP} = 64.153 \text{ dB/Hz}$$

9. Relación $(Eb/No)_{UP}$

$$R_b = 76.8 \text{ kbps} \quad (\text{modulación MSK})$$

$$(C/No)_{UP} = 64.153 \text{ dB/Hz}$$

$$(Eb/No)_{UP} = (C/No)_{UP} - 10 \text{ Log} (R_b)$$

$$(Eb/No)_{UP} = 64.153 - 48.854$$

$$(Eb/No)_{UP} = 15.300 \text{ dB}$$

4.5.9 Estación Caplina-Pachia

1. PIRE de la estación terrena VSAT

$$P_t \text{ dBw} = 0 \text{ dBw}$$

$$G_{TX} \text{ dB} = 42.545 \text{ dB}$$

$$L_{BO} \text{ (dB)} = 2 \text{ dB}$$

$$L_{postHPA} = 3 \text{ dB}$$

$$L_{acoplo UP} = 1.7 \text{ dB}$$

$$PIRE_{ET} \text{ dBw} = P_t \text{ dBw} + G_{TX} \text{ dB} - L_{BO} \text{ (dB)} - L_{postHPA} \text{ (dB)} - L_{acoplo UP} \text{ dB}$$

$$PIRE_{ET} \text{ dBw} = 35.845 \text{ dBw}$$

2. Flujo de potencia

$$d = 36794.619 * 10^3$$

$$\Psi \text{ dB} = PIRE_{ET} \text{ dBw} - 10 \text{ Log} (4 * d^2)$$

$$\Psi \text{ dB} = 35.845 - 10 * \log [(4 * 3.1416) * (36794.619 * 10^3)^2]$$

$$\Psi \text{ dB} = -126.46 \text{ dBw/m}^2$$

3. Pérdidas en el espacio libre $(L_{fs})_{UP}$

$$d_{E.T-SAT} = 36794.619 \text{ kms}$$

$$f_{UP} = 14.390 \text{ GHz}$$

$$L_{fs UP} \text{ dB} = 92.4 + 20 * \log (d_{E.T-SAT} \text{ Km}) + 20 * \text{Log} (f_{UP} \text{ GHz})$$

$$L_{fs \text{ UP}} \text{ dB} = 92.4 + 20 * \log (36794.619)_{\text{Km}} + 20 * \text{Log} (14.390)_{\text{GHz}}$$

$$L_{fs \text{ UP}} = 206.8769 \text{ dB}$$

4. Pérdidas totales

$$L_{fs \text{ UP}} = 206.8769 \text{ dB}$$

$$L_{rain \text{ UP}} = 2.1986 \text{ dB}$$

$$L_{total \text{ UP}} = L_{fs \text{ UP}} + L_{rain \text{ UP}}$$

$$L_{total \text{ UP}} = 209.075 \text{ dB}$$

5. Ganancia de la antena de recepción del satélite

$$D = 1.0 \text{ metros}$$

$$f = 14.390 \text{ GHz}$$

$$G_{sat \text{ dB}} = 20 \log (f(\text{MHz})) + 20 * \log D(\text{mts}) - 42.2$$

$$G_{sat \text{ dB}} = 20 \log (14390) + 20 * \log (1.0) - 42.2$$

$$G_{sat \text{ dB}} = 40.961 \text{ dB}$$

6. Figura de mérito $(G/T)_{SAT}$

$$(G/T)_{SAT} = G_{sat} - T_{SIS \text{ Tx}} - L_{point} - L_{go}$$

$$(G/T)_{SAT} = 9.499 \text{ dB}$$

7. Relación $(C/T)_{UP}$

$$PIRE_{ET \text{ dBW}} = 35.845 \text{ dBW}$$

$$L_{total \text{ UP}} = 209.075 \text{ dB}$$

$$(G/T)_{SAT} = 9.499 \text{ dB}$$

$$(C/T)_{UP} = PIRE_{ET \text{ dBW}} - L_{total \text{ UP}} + (G/T)_{SAT}$$

$$(C/T)_{UP} = -163.732 \text{ dBW/}^\circ\text{K}$$

8. Relación $(C/No)_{UP}$

$$(C/No)_{UP} = (C/T)_{UP \text{ dBW/}^\circ\text{K}} - K \text{ dBW/Hz} - ^\circ\text{K}$$

$$(C/No)_{UP} = -163.732 \text{ dBW/}^\circ\text{K} - (-228.6 \text{ dBW/Hz} - ^\circ\text{K})$$

$$(C/No)_{UP} = 64.868 \text{ dB/Hz}$$

9. Relación $(Eb/No)_{UP}$

$$R_b = 76.8 \text{ kbps} \quad (\text{modulación MSK})$$

$$(C/No)_{UP} = 64.868 \text{ dB/Hz}$$

$$(Eb/No)_{UP} = (C/No)_{UP} - 10 \text{ Log} (R_b)$$

$$(Eb/No)_{UP} = 64.868 - 48.854$$

$$(Eb/No)_{UP} = 16.015 \text{ dB}$$

4.6 DISEÑO DEL ENLACE DE BAJADA PARA EL ACCESO A INTERNET

4.6.1 Estación Sama Grande

1. PIRE del satélite Intelsat 14 banda Ku

$$PIRE_{SAT \text{ dBW}} = 49.1 \text{ dBW}$$

2. Pérdidas en el espacio libre $(L_{fs})_{down}$

$$d_{E.T-SAT} = 36827.2 \text{ kms}$$

$$f_{down} = 11.840 \text{ GHz}$$

$$L_{fs \text{ down dB}} = 92.4 + 20 * \log (36827.2)_{Km} + 20 * \text{Log} (11.840)_{GHz}$$

$$L_{fs \text{ down dB}} = 205.1904 \text{ dB}$$

3. Pérdidas totales

$$L_{fs \text{ down}} = 205.1904 \text{ dB}$$

$$L_{rain \text{ down}} = 0.2715 \text{ dB}$$

$$L_{total \text{ down}} = L_{fs \text{ down}} + L_{rain \text{ down}}$$

$$L_{total \text{ down}} = 205.462 \text{ dB}$$

4. Temperatura de ruido del sistema de recepción

$$T_{N_{RX}} (^{\circ}K) = T_{ant \text{ RX}} + T_{LNA} + T_o * (F-1)$$

$$T_{N_{RX}} (^{\circ}K) = 34^{\circ} + 200^{\circ} + 288^{\circ} * (2.2 - 1)$$

$$T_{N_{RX}} (^{\circ}K) = 579.6^{\circ}$$

$$T_{N_{RX}} (\text{dB } ^{\circ}K) = 10 * \log (579.6^{\circ})$$

$$T_{N_{RX}} = 27.631 \text{ dB } ^\circ\text{K}$$

5. Figura de mérito $(G/T)_{ET}$

$$G_{RX} = 40.851 \text{ dB}$$

$$T_{N_{RX}} = 27.631 \text{ dB } ^\circ\text{K}$$

$$L_{\text{acoplo down}} = 0.3 \text{ dB}$$

$$L_{\text{OBO}} = 4.00 \text{ dB}$$

$$L_{\text{point down}} = 0.004 \text{ dB}$$

$$L_{\text{go down}} = 1.50 \text{ dB}$$

$$(G/T)_{ET} = G_{RX} - T_{N_{RX}} - L_{\text{acoplo down}} - L_{\text{OBO}} - L_{\text{point down}} - L_{\text{go down}}$$

$$(G/T)_{ET} = 7.415 \text{ dB}$$

6. Relación $(C/No)_{\text{down}}$

$$PIRE_{\text{SAT dBW}} = 49.1 \text{ dBW}$$

$$L_{\text{total down}} = 205.462 \text{ dB}$$

$$(G/T)_{ET} = 7.415 \text{ dB}$$

$$K \text{ dBW/Hz} - ^\circ\text{K} = -228.6 \text{ dBW/Hz} - ^\circ\text{K}$$

$$(C/No)_{\text{down}} = PIRE_{\text{SAT dBW}} - L_{\text{total down}} + (G/T)_{ET} - K \text{ dBW/Hz} - ^\circ\text{K}$$

$$(C/No)_{\text{down}} = 79.653 \text{ dB/Hz}$$

7. Relación $(Eb/No)_{\text{down}}$

$$R_{b \text{ down}} = 256 \text{ kbps} \quad (\text{modulación QPSK})$$

$$(Eb/No)_{\text{down}} = (C/No)_{\text{down}} - 10 \text{ Log} (R_{b \text{ down}})$$

$$(Eb/No)_{\text{down}} = 79.653 - 54.082$$

$$(Eb/No)_{\text{down}} = 25.571 \text{ dB}$$

4.6.2 Estación Tarucachi

1. PIRE del satélite Intelsat 14 banda Ku

$$PIRE_{\text{SAT dBW}} = 49.1 \text{ dBW}$$

2. Pérdidas en el espacio libre (L_{fs})_{down}

$$d_{E.T-SAT} = 36793.722 \text{ kms}$$

$$f_{down} = 11.840 \text{ GHz}$$

$$L_{fs \text{ down dB}} = 92.4 + 20 * \log (36793.722)_{Km} + 20 * \text{Log} (11.840)_{GHz}$$

$$L_{fs \text{ down dB}} = 205.1825 \text{ dB}$$

3. Pérdidas totales

$$L_{fs \text{ down}} = 205.1825 \text{ dB}$$

$$L_{rain \text{ down}} = 0.3362 \text{ dB}$$

$$L_{total \text{ down}} = L_{fs \text{ down}} + L_{rain \text{ down}}$$

$$L_{total \text{ down}} = 205.519 \text{ dB}$$

4. Temperatura de ruido del sistema de recepción

$$T_{N_{RX}} (^{\circ}K) = T_{ant \text{ RX}} + T_{LNA} + T_o * (F-1)$$

$$T_{N_{RX}} (^{\circ}K) = 34^{\circ} + 200^{\circ} + 288^{\circ} * (2.2 - 1)$$

$$T_{N_{RX}} (^{\circ}K) = 579.6^{\circ}$$

$$T_{N_{RX}} (\text{dB } ^{\circ}K) = 10 * \log (579.6^{\circ})$$

$$T_{N_{RX}} = 27.631 \text{ dB } ^{\circ}K$$

5. Figura de mérito (G/T)_{ET}

$$G_{RX} = 40.851 \text{ dB}$$

$$T_{N_{RX}} = 27.631 \text{ dB } ^{\circ}K$$

$$L_{acoplo \text{ down}} = 0.3 \text{ dB}$$

$$L_{OBO} = 4.00 \text{ dB}$$

$$L_{point \text{ down}} = 0.004 \text{ dB}$$

$$L_{go \text{ down}} = 1.50 \text{ dB}$$

$$(G/T)_{ET} = G_{RX} - T_{N_{RX}} - L_{acoplo \text{ down}} - L_{OBO} - L_{point \text{ down}} - L_{go \text{ down}}$$

$$(G/T)_{ET} = 7.415 \text{ dB}$$

6. Relación (C/No)_{down}

$$\text{PIRE}_{\text{SAT dBW}} = 49.1 \text{ dBW}$$

$$L_{\text{total down}} = 205.519 \text{ dB}$$

$$(G/T)_{\text{ET}} = 7.415 \text{ dB}$$

$$K \text{ dBW/Hz} - ^\circ\text{K} = -228.6 \text{ dBW/Hz} - ^\circ\text{K}$$

$$(C/No)_{\text{down}} = \text{PIRE}_{\text{SAT dBW}} - L_{\text{total down}} + (G/T)_{\text{ET}} - K \text{ dBW/Hz} - ^\circ\text{K}$$

$$(C/No)_{\text{down}} = 79.901 \text{ dB/Hz}$$

7. Relación $(E_b/No)_{\text{down}}$

$$R_{b \text{ down}} = 256 \text{ kbps} \quad (\text{modulación QPSK})$$

$$(E_b/No)_{\text{down}} = (C/No)_{\text{down}} - 10 \text{ Log} (R_{b \text{ down}})$$

$$(E_b/No)_{\text{down}} = 79.901 - 54.082$$

$$(E_b/No)_{\text{down}} = 25.818 \text{ dB}$$

4.6.3 Estación Yabroco-Susapaya

1. PIRE del satélite Intelsat 14 banda Ku

$$\text{PIRE}_{\text{SAT dBW}} = 49.1 \text{ dBW}$$

2. Pérdidas en el espacio libre $(L_{fs})_{\text{down}}$

$$d_{\text{E.T-SAT}} = 36791.953 \text{ kms}$$

$$f_{\text{down}} = 11.840 \text{ GHz}$$

$$L_{fs \text{ down dB}} = 92.4 + 20 * \log (36791.953)_{\text{Km}} + 20 * \text{Log} (11.840)_{\text{GHz}}$$

$$L_{fs \text{ down dB}} = 205.1821 \text{ dB}$$

3. Pérdidas totales

$$L_{fs \text{ down}} = 205.1821 \text{ dB}$$

$$L_{\text{rain down}} = 1.2654 \text{ dB}$$

$$L_{\text{total down}} = L_{fs \text{ down}} + L_{\text{rain down}}$$

$$L_{\text{total downP}} = 206.447 \text{ dB}$$

4. Temperatura de ruido del sistema de recepción

$$T_{N_{RX}} (^{\circ}K) = T_{ant\ RX} + T_{LNA} + T_o^* (F-1)$$

$$T_{N_{RX}} (^{\circ}K) = 34^{\circ} + 200^{\circ} + 288^{\circ} * (2.2 - 1)$$

$$T_{N_{RX}} (^{\circ}K) = 579.6^{\circ}$$

$$T_{N_{RX}} (dB\ ^{\circ}K) = 10 * \log (579.6^{\circ})$$

$$T_{N_{RX}} = 27.631\ dB\ ^{\circ}K$$

5. Figura de mérito $(G/T)_{ET}$

$$G_{RX} = 40.851\ dB$$

$$T_{N_{RX}} = 27.631\ dB\ ^{\circ}K$$

$$L_{acoplo\ down} = 0.3\ dB$$

$$L_{OBO} = 4.00\ dB$$

$$L_{point\ down} = 0.004\ dB$$

$$L_{go\ down} = 1.50\ dB$$

$$(G/T)_{ET} = G_{RX} - T_{N_{RX}} - L_{acoplo\ down} - L_{OBO} - L_{point\ down} - L_{go\ down}$$

$$(G/T)_{ET} = 7.415\ dB$$

6. Relación $(C/No)_{down}$

$$PIRE_{SAT\ dBW} = 49.1\ dBW$$

$$L_{total\ down} = 206.447\ dB$$

$$(G/T)_{ET} = 7.415\ dB$$

$$K\ dBW/Hz - ^{\circ}K = -228.6\ dBW/Hz - ^{\circ}K$$

$$(C/No)_{down} = PIRE_{SAT\ dBW} - L_{total\ down} + (G/T)_{ET} - K\ dBW/Hz - ^{\circ}K$$

$$(C/No)_{down} = 78.972\ dB/Hz$$

7. Relación $(Eb/No)_{down}$

$$R_{b\ down} = 256\ kbps\ (\text{modulación QPSK})$$

$$(Eb/No)_{down} = (C/No)_{down} - 10\ Log\ (R_{b\ down})$$

$$(Eb/No)_{down} = 78.972 - 54.082$$

$$(Eb/No)_{down} = 24.889\ dB$$

4.6.4 Estación Santa Cruz

1. PIRE del satélite Intelsat 14 banda Ku

$$\text{PIRE}_{\text{SAT dBW}} = 49.1 \text{ dBW}$$

2. Pérdidas en el espacio libre (L_{fs})_{down}

$$d_{\text{E.T-SAT}} = 36793.910 \text{ kms}$$

$$f_{\text{down}} = 11.840 \text{ GHz}$$

$$L_{fs \text{ down dB}} = 92.4 + 20 * \log (36793.910)_{\text{Km}} + 20 * \text{Log} (11.840)_{\text{GHz}}$$

$$L_{fs \text{ down dB}} = 205.1826 \text{ dB}$$

3. Pérdidas totales

$$L_{fs \text{ down}} = 205.1826 \text{ dB}$$

$$L_{\text{rain down}} = 1.7423 \text{ dB}$$

$$L_{\text{total down}} = L_{fs \text{ down}} + L_{\text{rain down}}$$

$$L_{\text{total down}} = 206.925 \text{ dB}$$

4. Temperatura de ruido del sistema de recepción

$$T_{N \text{ RX}} (^{\circ}\text{K}) = T_{\text{ant RX}} + T_{\text{LNA}} + T_o * (F-1)$$

$$T_{N \text{ RX}} (^{\circ}\text{K}) = 34^{\circ} + 200^{\circ} + 288^{\circ} * (2.2 - 1)$$

$$T_{N \text{ RX}} (^{\circ}\text{K}) = 579.6^{\circ}$$

$$T_{N \text{ RX}} (\text{dB } ^{\circ}\text{K}) = 10 * \log (579.6^{\circ})$$

$$T_{N \text{ RX}} = 27.631 \text{ dB } ^{\circ}\text{K}$$

5. Figura de mérito (G/T)_{ET}

$$G_{\text{RX}} = 40.851 \text{ dB}$$

$$T_{N \text{ RX}} = 27.631 \text{ dB } ^{\circ}\text{K}$$

$$L_{\text{acoplo down}} = 0.3 \text{ dB}$$

$$L_{\text{OBO}} = 4.00 \text{ dB}$$

$$L_{\text{point down}} = 0.004 \text{ dB}$$

$$L_{\text{go down}} = 1.50 \text{ dB}$$

$$(G/T)_{\text{ET}} = G_{\text{RX}} - T_{N \text{ RX}} - L_{\text{acoplo down}} - L_{\text{OBO}} - L_{\text{point down}} - L_{\text{go down}}$$

$$(G/T)_{ET} = 7.415 \text{ dB}$$

6. Relación $(C/No)_{down}$

$$PIRE_{SAT \text{ dBW}} = 49.1 \text{ dBW}$$

$$L_{total \text{ down}} = 206.925 \text{ dB}$$

$$(G/T)_{ET} = 7.415 \text{ dB}$$

$$K \text{ dBW/Hz} - ^\circ K = -228.6 \text{ dBW/Hz} - ^\circ K$$

$$(C/No)_{down} = PIRE_{SAT \text{ dBW}} - L_{total \text{ down}} + (G/T)_{ET} - K \text{ dBW/Hz} - ^\circ K$$

$$(C/No)_{down} = 78.495 \text{ dB/Hz}$$

7. Relación $(Eb/No)_{down}$

$$R_{b \text{ down}} = 256 \text{ kbps} \quad (\text{modulación QPSK})$$

$$(Eb/No)_{down} = (C/No)_{down} - 10 \text{ Log} (R_{b \text{ down}})$$

$$(Eb/No)_{down} = 78.495 - 54.082$$

$$(Eb/No)_{down} = 24.412 \text{ dB}$$

4.6.5 Estación Camilaca

1. PIRE del satélite Intelsat 14 banda Ku

$$PIRE_{SAT \text{ dBW}} = 49.1 \text{ dBW}$$

2. Pérdidas en el espacio libre $(L_{fs})_{down}$

$$d_{E.T-SAT} = 36803.496 \text{ kms}$$

$$f_{down} = 11.840 \text{ GHz}$$

$$L_{fs \text{ down}} \text{ dB} = 92.4 + 20 * \log (36803.496)_{Km} + 20 * \text{Log} (11.840)_{GHz}$$

$$L_{fs \text{ down}} \text{ dB} = 205.1848 \text{ dB}$$

3. Pérdidas totales

$$L_{fs \text{ down}} = 205.1848 \text{ dB}$$

$$L_{rain \text{ down}} = 2.0470 \text{ dB}$$

$$L_{total \text{ down}} = L_{fs \text{ down}} + L_{rain \text{ down}}$$

$$L_{\text{total down}} = 207.232 \text{ dB}$$

4. Temperatura de ruido del sistema de recepción

$$T_{N_{RX}} (^{\circ}\text{K}) = T_{\text{ant RX}} + T_{LNA} + T_o * (F-1)$$

$$T_{N_{RX}} (^{\circ}\text{K}) = 34^{\circ} + 200^{\circ} + 288^{\circ} * (2.2 - 1)$$

$$T_{N_{RX}} (^{\circ}\text{K}) = 579.6^{\circ}$$

$$T_{N_{RX}} (\text{dB } ^{\circ}\text{K}) = 10 * \log (579.6^{\circ})$$

$$T_{N_{RX}} = 27.631 \text{ dB } ^{\circ}\text{K}$$

5. Figura de mérito (G/T)_{ET}

$$G_{RX} = 40.851 \text{ dB}$$

$$T_{N_{RX}} = 27.631 \text{ dB } ^{\circ}\text{K}$$

$$L_{\text{acoplo down}} = 0.3 \text{ dB}$$

$$L_{\text{OBO}} = 4.00 \text{ dB}$$

$$L_{\text{point down}} = 0.004 \text{ dB}$$

$$L_{\text{go down}} = 1.50 \text{ dB}$$

$$(G/T)_{ET} = G_{RX} - T_{N_{RX}} - L_{\text{acoplo down}} - L_{\text{OBO}} - L_{\text{point down}} - L_{\text{go down}}$$

$$(G/T)_{ET} = 7.415 \text{ dB}$$

6. Relación (C/No)_{down}

$$PIRE_{SAT \text{ dBW}} = 49.1 \text{ dBW}$$

$$L_{\text{total down}} = 207.232 \text{ dB}$$

$$(G/T)_{ET} = 7.415 \text{ dB}$$

$$K \text{ dBW/Hz} - ^{\circ}\text{K} = - 228.6 \text{ dBW/Hz} - ^{\circ}\text{K}$$

$$(C/No)_{\text{down}} = PIRE_{SAT \text{ dBW}} - L_{\text{total down}} + (G/T)_{ET} - K \text{ dBW/Hz} - ^{\circ}\text{K}$$

$$(C/No)_{\text{down}} = 78.188 \text{ dB/Hz}$$

7. Relación (Eb/No)_{down}

$$R_{b \text{ down}} = 256 \text{ kbps} \quad (\text{modulación QPSK})$$

$$(Eb/No)_{\text{down}} = (C/No)_{\text{down}} - 10 \text{ Log} (R_{b \text{ down}})$$

$$(E_b/N_o)_{\text{down}} = 78.188 - 54.082$$

$$(E_b/N_o)_{\text{down}} = 24.105 \text{ dB}$$

4.6.6 Estación Borogueña-Illabaya

1. PIRE del satélite Intelsat 14 banda Ku

$$\text{PIRE}_{\text{SAT dBW}} = 49.1 \text{ dBW}$$

2. Pérdidas en el espacio libre (L_{fs})_{down}

$$d_{\text{E.T-SAT}} = 36807.790 \text{ kms}$$

$$f_{\text{down}} = 11.840 \text{ GHz}$$

$$L_{fs \text{ down dB}} = 92.4 + 20 * \log (36807.790)_{\text{Km}} + 20 * \text{Log} (11.840)_{\text{GHz}}$$

$$L_{fs \text{ down dB}} = 205.1858 \text{ dB}$$

3. Pérdidas totales

$$L_{fs \text{ down}} = 205.1858 \text{ dB}$$

$$L_{\text{rain down}} = 0.0143 \text{ dB}$$

$$L_{\text{total down}} = L_{fs \text{ down}} + L_{\text{rain down}}$$

$$L_{\text{total down}} = 205.200 \text{ dB}$$

4. Temperatura de ruido del sistema de recepción

$$T_{N_{RX}} (^{\circ}\text{K}) = T_{\text{ant RX}} + T_{\text{LNA}} + T_o * (F-1)$$

$$T_{N_{RX}} (^{\circ}\text{K}) = 34^{\circ} + 200^{\circ} + 288^{\circ} * (2.2 - 1)$$

$$T_{N_{RX}} (^{\circ}\text{K}) = 579.6^{\circ}$$

$$T_{N_{RX}} (\text{dB } ^{\circ}\text{K}) = 10 * \log (579.6^{\circ})$$

$$T_{N_{RX}} = 27.631 \text{ dB } ^{\circ}\text{K}$$

5. Figura de mérito (G/T)_{ET}

$$G_{RX} = 40.851 \text{ dB}$$

$$T_{N_{RX}} = 27.631 \text{ dB } ^{\circ}\text{K}$$

$$L_{\text{acoplo down}} = 0.3 \text{ dB}$$

$$L_{\text{OBO}} = 4.00 \text{ dB}$$

$$L_{\text{point down}} = 0.004 \text{ dB}$$

$$L_{\text{go down}} = 1.50 \text{ dB}$$

$$(G/T)_{\text{ET}} = G_{\text{Rx}} - T_{\text{NRx}} - L_{\text{acoplo down}} - L_{\text{OBO}} - L_{\text{point down}} - L_{\text{go down}}$$

$$(G/T)_{\text{ET}} = 7.415 \text{ dB}$$

6. Relación $(C/No)_{\text{down}}$

$$\text{PIRE}_{\text{SAT dBW}} = 49.1 \text{ dBW}$$

$$L_{\text{total down}} = 205.200 \text{ dB}$$

$$(G/T)_{\text{ET}} = 7.415 \text{ dB}$$

$$K \text{ dBW/Hz} - ^\circ\text{K} = -228.6 \text{ dBW/Hz} - ^\circ\text{K}$$

$$(C/No)_{\text{down}} = \text{PIRE}_{\text{SAT dBW}} - L_{\text{total down}} + (G/T)_{\text{ET}} - K \text{ dBW/Hz} - ^\circ\text{K}$$

$$(C/No)_{\text{down}} = 80.219 \text{ dB/Hz}$$

7. Relación $(Eb/No)_{\text{down}}$

$$R_{\text{b down}} = 256 \text{ kbps} \quad (\text{modulación QPSK})$$

$$(Eb/No)_{\text{down}} = (C/No)_{\text{down}} - 10 \text{ Log} (R_{\text{b down}})$$

$$(Eb/No)_{\text{down}} = 80.219 - 54.082$$

$$(Eb/No)_{\text{down}} = 26.137 \text{ dB}$$

4.6.7 Estación Alto Perú

1. PIRE del satélite Intelsat 14 banda Ku

$$\text{PIRE}_{\text{SAT dBW}} = 49.1 \text{ dBW}$$

2. Pérdidas en el espacio libre $(L_{\text{fs}})_{\text{down}}$

$$d_{\text{E.T-SAT}} = 36770.822 \text{ kms}$$

$$f_{\text{down}} = 11.840 \text{ GHz}$$

$$L_{\text{fs down dB}} = 92.4 + 20 * \text{log} (36770.822)_{\text{Km}} + 20 * \text{Log} (11.840)_{\text{GHz}}$$

$$L_{\text{fs down dB}} = 205.1771 \text{ dB}$$

3. Pérdidas totales

$$L_{fs \text{ down}} = 205.1771 \text{ dB}$$

$$L_{rain \text{ down}} = 8.8823 \text{ dB}$$

$$L_{total \text{ down}} = L_{fs \text{ down}} + L_{rain \text{ down}}$$

$$L_{total \text{ down}} = 214.059 \text{ dB}$$

4. Temperatura de ruido del sistema de recepción

$$T_{N_{RX}} (^{\circ}K) = T_{ant \text{ RX}} + T_{LNA} + T_o * (F-1)$$

$$T_{N_{RX}} (^{\circ}K) = 34^{\circ} + 200^{\circ} + 288^{\circ} * (2.2 - 1)$$

$$T_{N_{RX}} (^{\circ}K) = 579.6^{\circ}$$

$$T_{N_{RX}} (\text{dB } ^{\circ}K) = 10 * \log (579.6^{\circ})$$

$$T_{N_{RX}} = 27.631 \text{ dB } ^{\circ}K$$

5. Figura de mérito (G/T)_{ET}

$$G_{RX} = 40.851 \text{ dB}$$

$$T_{N_{RX}} = 27.631 \text{ dB } ^{\circ}K$$

$$L_{acoplo \text{ down}} = 0.3 \text{ dB}$$

$$L_{OBO} = 4.00 \text{ dB}$$

$$L_{point \text{ down}} = 0.004 \text{ dB}$$

$$L_{go \text{ down}} = 1.50 \text{ dB}$$

$$(G/T)_{ET} = G_{RX} - T_{N_{RX}} - L_{acoplo \text{ down}} - L_{OBO} - L_{point \text{ down}} - L_{go \text{ down}}$$

$$(G/T)_{ET} = 7.415 \text{ dB}$$

6. Relación (C/No)_{down}

$$PIRE_{SAT \text{ dBW}} = 49.1 \text{ dBW}$$

$$L_{total \text{ down}} = 214.059 \text{ dB}$$

$$(G/T)_{ET} = 7.415 \text{ dB}$$

$$K \text{ dBW/Hz } - ^{\circ}K = -228.6 \text{ dBW/Hz } - ^{\circ}K$$

$$(C/No)_{down} = PIRE_{SAT \text{ dBW}} - L_{total \text{ down}} + (G/T)_{ET} - K \text{ dBW/Hz } - ^{\circ}K$$

$$(C/No)_{down} = 71.360 \text{ dB/Hz}$$

7. Relación $(E_b/N_o)_{\text{down}}$

$$R_{b \text{ down}} = 256 \text{ kbps} \quad (\text{modulación QPSK})$$

$$(E_b/N_o)_{\text{down}} = (C/N_o)_{\text{down}} - 10 \text{ Log} (R_{b \text{ down}})$$

$$(E_b/N_o)_{\text{down}} = 71.360 - 54.082$$

$$(E_b/N_o)_{\text{down}} = 17.278 \text{ dB}$$

4.6.8 Estación Vilavilani

1. PIRE del satélite Intelsat 14 banda Ku

$$\text{PIRE}_{\text{SAT dBW}} = 49.1 \text{ dBW}$$

2. Pérdidas en el espacio libre $(L_{fs})_{\text{down}}$

$$d_{\text{E.T-SAT}} = 36798.705 \text{ kms}$$

$$f_{\text{down}} = 11.840 \text{ GHz}$$

$$L_{fs \text{ down dB}} = 92.4 + 20 * \log (36798.705)_{\text{Km}} + 20 * \text{Log} (11.840)_{\text{GHz}}$$

$$L_{fs \text{ down dB}} = 205.1837 \text{ dB}$$

3. Pérdidas totales

$$L_{fs \text{ down}} = 205.1837 \text{ dB}$$

$$L_{\text{rain down}} = 2.5891 \text{ dB}$$

$$L_{\text{total down}} = L_{fs \text{ down}} + L_{\text{rain down}}$$

$$L_{\text{total down}} = 207.773 \text{ dB}$$

4. Temperatura de ruido del sistema de recepción

$$T_{N_{RX}} (^{\circ}\text{K}) = T_{\text{ant RX}} + T_{\text{LNA}} + T_o * (F-1)$$

$$T_{N_{RX}} (^{\circ}\text{K}) = 34^{\circ} + 200^{\circ} + 288^{\circ} * (2.2 - 1)$$

$$T_{N_{RX}} (^{\circ}\text{K}) = 579.6^{\circ}$$

$$T_{N_{RX}} (\text{dB } ^{\circ}\text{K}) = 10 * \log (579.6^{\circ})$$

$$T_{N_{RX}} = 27.631 \text{ dB } ^{\circ}\text{K}$$

5. Figura de mérito $(G/T)_{\text{ET}}$

$$G_{\text{RX}} = 40.851 \text{ dB}$$

$$T_{N_{RX}} = 27.631 \text{ dB } ^\circ\text{K}$$

$$L_{\text{acoplo down}} = 0.3 \text{ dB}$$

$$L_{\text{OBO}} = 4.00 \text{ dB}$$

$$L_{\text{point down}} = 0.004 \text{ dB}$$

$$L_{\text{go down}} = 1.50 \text{ dB}$$

$$(G/T)_{ET} = G_{RX} - T_{N_{RX}} - L_{\text{acoplo down}} - L_{\text{OBO}} - L_{\text{point down}} - L_{\text{go down}}$$

$$(G/T)_{ET} = 7.415 \text{ dB}$$

6. Relación $(C/No)_{\text{down}}$

$$PIRE_{\text{SAT dBW}} = 49.1 \text{ dBW}$$

$$L_{\text{total down}} = 207.773 \text{ dB}$$

$$(G/T)_{ET} = 7.415 \text{ dB}$$

$$K \text{ dBW/Hz} - ^\circ\text{K} = -228.6 \text{ dBW/Hz} - ^\circ\text{K}$$

$$(C/No)_{\text{down}} = PIRE_{\text{SAT dBW}} - L_{\text{total down}} + (G/T)_{ET} - K \text{ dBW/Hz} - ^\circ\text{K}$$

$$((C/No)_{\text{down}} = 77.647 \text{ dB/Hz}$$

7. Relación $(Eb/No)_{\text{down}}$

$$R_{b \text{ down}} = 256 \text{ kbps} \quad (\text{modulación QPSK})$$

$$(Eb/No)_{\text{down}} = (C/No)_{\text{down}} - 10 \text{ Log} (R_{b \text{ down}})$$

$$(Eb/No)_{\text{down}} = 77.647 - 54.082$$

$$(Eb/No)_{\text{down}} = 23.564 \text{ dB}$$

4.6.9 Estación Caplina-Pachia

1. PIRE del satélite Intelsat 14 banda Ku

$$PIRE_{\text{SAT dBW}} = 49.1 \text{ dBW}$$

2. Pérdidas en el espacio libre $(L_{fs})_{\text{down}}$

$$d_{E.T-SAT} = 36794.619 \text{ kms}$$

$$f_{\text{down}} = 11.840 \text{ GHz}$$

$$L_{fs \text{ down dB}} = 92.4 + 20 * \log (36794.619)_{\text{Km}} + 20 * \text{Log} (11.840)_{\text{GHz}}$$

$$L_{fs \text{ down}} \text{ dB} = 205.1827 \text{ dB}$$

3. Pérdidas totales

$$L_{fs \text{ down}} = 205.1827 \text{ dB}$$

$$L_{rain \text{ down}} = 1.6332 \text{ dB}$$

$$L_{total \text{ down}} = L_{fs \text{ down}} + L_{rain \text{ down}}$$

$$L_{total \text{ down}} = 206.816 \text{ dB}$$

4. Temperatura de ruido del sistema de recepción

$$T_{N_{RX}} (^{\circ}\text{K}) = T_{ant \text{ RX}} + T_{LNA} + T_o * (F-1)$$

$$T_{N_{RX}} (^{\circ}\text{K}) = 34^{\circ} + 200^{\circ} + 288^{\circ} * (2.2 - 1)$$

$$T_{N_{RX}} (^{\circ}\text{K}) = 579.6^{\circ}$$

$$T_{N_{RX}} (\text{dB } ^{\circ}\text{K}) = 10 * \log (579.6^{\circ})$$

$$T_{N_{RX}} = 27.631 \text{ dB } ^{\circ}\text{K}$$

5. Figura de mérito (G/T)_{ET}

$$G_{RX} = 40.851 \text{ dB}$$

$$T_{N_{RX}} = 27.631 \text{ dB } ^{\circ}\text{K}$$

$$L_{acoplo \text{ down}} = 0.3 \text{ dB}$$

$$L_{OBO} = 4.00 \text{ dB}$$

$$L_{point \text{ down}} = 0.004 \text{ dB}$$

$$L_{go \text{ down}} = 1.50 \text{ dB}$$

$$(G/T)_{ET} = G_{RX} - T_{N_{RX}} - L_{acoplo \text{ down}} - L_{OBO} - L_{point \text{ down}} - L_{go \text{ down}}$$

$$(G/T)_{ET} = 7.415 \text{ dB}$$

6. Relación (C/No)_{down}

$$PIRE_{SAT \text{ dBW}} = 49.1 \text{ dBW}$$

$$L_{total \text{ down}} = 206.816 \text{ dB}$$

$$(G/T)_{ET} = 7.415 \text{ dB}$$

$$K \text{ dBW/Hz} - ^{\circ}\text{K} = -228.6 \text{ dBW/Hz} - ^{\circ}\text{K}$$

$$(C/No)_{\text{down}} = \text{PIRE}_{\text{SAT dBW}} - L_{\text{total down}} + (G/T)_{\text{ET}} - K \text{ dBW/Hz} - \text{°K}$$

$$(C/No)_{\text{down}} = 78.603 \text{ dB/Hz}$$

7. Relación $(E_b/N_o)_{\text{down}}$

$$R_{b \text{ down}} = 256 \text{ kbps} \quad (\text{modulación QPSK})$$

$$(E_b/N_o)_{\text{down}} = (C/No)_{\text{down}} - 10 \text{ Log} (R_{b \text{ down}})$$

$$(E_b/N_o)_{\text{down}} = 78.603 - 54.082$$

$$(E_b/N_o)_{\text{down}} = 24.521 \text{ dB}$$

4.7 ANCHO DE BANDA REQUERIDO PARA ENLACE DE INTERNET

El ancho de banda que se empleará para el enlace de Internet viene dado por las características técnicas del equipo VSAT implementado, tales como sus velocidades de transmisión y recepción, la codificación y el tipo de modulaciones implementadas.

4.7.1 Ancho de banda para el UP-LINK

Las características del equipo VSAT para transmisión de datos son:

Velocidad de transmisión: $R_{b \text{ UP}} = 76.8 \text{ kbps}$.

Modulación empleada: MSK

Eficiencia espectral de la modulación $\Gamma = 1.29$

Razón de código (FEC): $\rho = 3/4$

4.7.1.1 Razón de bit transmitido

La razón de bit transmitido R_c corresponde a la razón de bit actual en un enlace dado mientras la conexión está activa. Se halla por medio de:

$$R_{c \text{ UP}} = R_{b \text{ UP}} / \rho$$

$$R_{c \text{ UP}} = (76.8 * 10^3) / (3/4)$$

$$R_{c \text{ UP}} = 102.4 \text{ kbps}$$

4.7.1.2 Ancho de banda del UP-LINK

Se halla empleando la relación de bit transmitido $R_{c \text{ UP}}$ y la eficiencia espectral, según la siguiente expresión:

$$B_{UP} = R_{C_{UP}} / \Gamma$$

$$B_{UP} = 102.4 * 10^3 / 1.29$$

$$\mathbf{B_{UP} = 79.38 \text{ KHz}}$$

4.7.2 Ancho de banda para el DOWN-LINK

Se realiza el mismo procedimiento empleado anteriormente para determinar ancho de banda. Esta vez se toman las características del equipo VSAT para recepción de datos:

$$R_{b_{down}} = 256 \text{ kbps}$$

Modulación empleada: QPSK

Eficiencia espectral de la modulación $\Gamma = 1.0$

Razón de código (FEC): $\rho = 3/4$

4.7.2.1 Razón de bit recibido

Utilizando la ecuación de R_c :

$$R_{C_{down}} = R_{b_{down}} / \rho$$

$$R_{C_{down}} = (256.0 * 10^3) / (3/4)$$

$$\mathbf{R_{C_{down}} = 341.33 \text{ kbps}}$$

4.7.2.2 Ancho de banda para el DOWN-LINK

Tomando la $R_{C_{down}}$ hallada y la eficiencia espectral de la modulación empleada:

$$B_{down} = R_{C_{down}} / \Gamma$$

$$B_{down} = 341.33 * 10^3 / 1.0$$

$$\mathbf{B_{down} = 341.33 \text{ KHz}}$$

4.7.3 Ancho de banda total del enlace

El ancho de banda utilizado del transpondedor elegido es la sumatoria del ancho de banda de subida y del ancho de banda de bajada, así:

$$B_{Total} = B_{UP} + B_{down}$$

$$B_{\text{Total}} = 79.38 \text{ kHz} + 341.33 \text{ kHz}$$

$$B_{\text{Total}} = 420.71 \text{ kHz}$$

4.8 ANALISIS DE RESULTADOS

4.8.1 Resumen de pérdidas por lluvia en cada estación VSAT

En la Tabla 43 se muestra los valores obtenidos de pérdidas por lluvia en el UP-LINK y en DOWN LINK de cada estación VSAT.

TABLA 43
RESUMEN DE PERDIDAS POR LLUVIA EN CADA ESTACIÓN VSAT

LOCALIDAD	L _{rain UP} (dB)	L _{rain down} (dB)
Sama Grande	0.4073	0.2715
Tarucachi	0.3955	0.3362
Yabroco	1.5290	1.2654
Santa Cruz	2.0649	1.7423
Camilaca	2.5019	2.0470
Borogueña	0.0220	0.0143
Alto Perú	10.7259	8.8823
Vilavilani	2.9128	2.5891
Caplina	2.1986	1.6332

Análisis

Se puede observar que las menores pérdidas por lluvia se producen en la localidad de Borogueña- Ilabaya, donde el valor de precipitación más alto es de 5 mm/h en el mes de Enero, que originan pérdidas de 0.022 dB en el up link y 0.0143 dB en el down link. La localidad de Borogueña se encuentra en la costa de la Región Tacna y el clima es templado con escasez de lluvias.

Por otro lado, las pérdidas más altas por lluvia se producen en la localidad de Alto Perú, donde el valor de precipitación más alto es de 104 mm/h en el mes de Enero, que origina pérdidas de 10.7026 dB en el up link y 8.882 dB en el down link. La localidad de Alto Perú se encuentra en la zona alto andina de la Región Tacna y el clima es frío y lluvioso.

4.8.2 Resumen de $(C/No)_{UP}$ y $(C/No)_{down}$ para cada estación VSAT

En la Tabla 44 se muestra los valores obtenidos de la relación portadora a ruido (C/No), tanto en el en el up-link y en down link de cada estación VSAT.

TABLA 44
RESUMEN DE RELACIÓN $(C/No)_{UP}$ Y $(C/No)_{down}$ PARA CADA ESTACIÓN VSAT

LOCALIDAD	$(C/No)_{UP}$	$(C/No)_{down}$
Sama Grande	66.652	79.653
Tarucachi	66.672	79.901
Yabroco	65.539	78.972
Santa Cruz	65.002	78.495
Camilaca	64.563	78.188
Borogueña	67.042	80.219
Alto Perú	56.347	71.360
Vilavilani	64.153	77.647
Caplina	64.868	78.603

Análisis

Por lo general, todas las estación VSAT seleccionadas tiene una buena relación (C/No) tanto en el enlace de subida y en el enlace de bajada. La estación Alto Perú con 56.347dB/Hz en el up link y 71.360 dB/Hz en el down link tiene el valor más bajo por tener un valor alto de pérdidas por lluvias.

En promedio, las estaciones VSAT tienen un valor promedio 65 dB/Hz.

4.8.3 Resumen de $(Eb/No)_{UP}$ y $(Eb/No)_{down}$ para cada estación VSAT

En la Tabla 45 se muestra los valores obtenidos de la relación (Eb/No) en el UP-LINK y en DOWN LINK de cada estación VSAT.

Se considera que una estación VSAT tiene un nivel de calidad de recepción/transmisión de datos cuando su relación (Eb/No) es mayor a 10 dB.

TABLA 45
RESUMEN DE RELACIÓN $(Eb/No)_{UP}$ Y $(Eb/No)_{down}$ PARA CADA
ESTACIÓN VSAT

LOCALIDAD	$(Eb/No)_{UP}$	$(Eb/No)_{down}$
Sama Grande	17.798	25.571
Tarucachi	17.818	25.818
Yabroco	16.685	24.889
Santa Cruz	16.149	24.412
Camilaca	15.709	24.105
Borogueña	18.188	26.137
Alto Perú	7.493	17.278
Vilavilani	15.300	23.564
Caplina	16.015	24.521

Análisis

La estación Alto Perú tiene el valor más bajo de (Eb/No) por tener un valor alto de pérdidas por lluvias (10.73 dB).

Por lo general, con excepción de la estación Alto Perú, las estaciones VSAT de la red propuesta tienen un valor promedio de $(Eb/No) = 16$ dB para el enlace de subida, mayor a 10 dB. Para el enlace de bajada, las estaciones VSAT de la red propuesta tienen un valor promedio de $(Eb/No) = 24$ dB.

4.9 COMPARACIÓN DE VSAT CON OTRAS TECNOLOGÍAS

Teniendo en cuenta las ventajas y desventajas de la red VSAT diseñada, a continuación, se compara VSAT con las tecnologías de Radioenlace por microondas y la transmisión por fibra óptica, para evaluar la conveniencia de implementar nuestra red en la zona de Estudio. Para ello, se hace una comparación de las principales características de cada tecnología a emplear.

En primer lugar, es propio definir los criterios que se tendrán en cuenta para realizar la comparación. Un aspecto importante está referido a los requerimientos del cliente (lo que espera el usuario del servicio) y partiendo de este hecho se recoge la información necesaria que ayuda a determinar la valoración de los diferentes criterios.

Así, se han identificado los parámetros más importantes que dan lugar a la calificación:

- Económico: Referido a los costos de implementación y operación de la red.
- Fiabilidad: Orientado a la calidad y buen funcionamiento de la red, respecto a las especificaciones del cliente.
- Mantenimiento: Relacionado con la prevención y detección de fallas en el sistema, y los intervalos de revisión de la misma.
- Cobertura: Cantidad de usuarios que pueden contar con el servicio, además de la capacidad de expansión.
- Vigencia de la tecnología: Referido a que la tecnología incorpora los últimos adelantos de la ingeniería.

Una vez definidos los parámetros de comparación, se dispone a realizar el análisis de cada punto.

4.9.1 Económico

- **VSAT**: Existe estabilidad en los costos de operación de la red durante un largo periodo de tiempo, además se evitan las restricciones que impone una red pública en cuanto a precios y puntos de acceso. El único segmento del que los usuarios de la red no pueden ser propietarios es del segmento espacial, pero sus precios son muy estables. Sin embargo, las inversiones iniciales son elevadas.
- **Radioenlace por microondas**: La inversión inicial realizada para una red de este tipo es alta, consecuencia de la adquisición e instalación de los equipos y se requiere de varios permisos para su instalación. También cabe anotar que, dadas las características del área rural, es una solución conveniente económicamente hablando debido a las distancias manejadas por cada terminal (fincas).
- **Transmisión por fibra óptica**: Para el caso de la zona rurales muy difícil su instalación al no existir la infraestructura necesaria para realizar la conexión de una red. Además, los costos de los repuestos son normalmente costosos.

4.9.2 Fiabilidad

- **VSAT:** El punto más crítico de la red está en el satélite. Toda la red depende de la disponibilidad del satélite, sin embargo, el problema no es muy grave pues si el problema está en un transpondedor un simple cambio de frecuencia y/o polarización lo soluciona. En caso de ser todo el satélite bastaría con reorientar las antenas a otro satélite.
- **Radioenlace por microondas:** Una transmisión fiable dependerá del diseño de las antenas en cuanto a potencia y eficiencia. Por lo general, se logra llegar a un equilibrio entre la potencia designada y el factor económico. En el diseño también debe tenerse en cuenta el manejo de frecuencias para evitar cualquier tipo de interferencia. De esta forma, una antena más elaborada puede garantizar buena potencia y bajos niveles de interferencia, permitiendo la comunicación entre puntos la mayor parte del tiempo.
- **Transmisión por fibra óptica:** Tiene un gran ancho de banda y es completamente inmune a interferencia electromagnética, reduciendo bastante los errores de transmisión. No se ve afectado por el número de usuarios que usen la red en el momento.

4.9.3 Mantenimiento

- **VSAT:** El mantenimiento de la red debe ser realizado por personal calificado en operación de equipos de comunicación satelital. Otro aspecto tiene que ver con la adquisición de repuestos, los cuales no son difíciles de conseguir.
- **Radioenlace por microondas:** Las antenas pueden ser arregladas dependiendo de su tipo. Entre más compleja y avanzada sea, su mantenimiento y reparación se complicará; aunque la mayoría de los repuestos se puede conseguir a nivel nacional.
- **Transmisión por fibra óptica:** La manipulación de la fibra óptica es muy compleja, además se necesita mayor especialización y

equipos adecuados para el óptimo funcionamiento de una red de este tipo.

4.9.4 Cobertura

- **VSAT:** La cobertura ofrecida por una red VSAT es bastante amplia, ya que esta no depende de la distancia que haya entre punto y punto. Asimismo, la red es fácilmente ampliable y pueden existir gran cantidad de usuarios para la misma red sin que decaiga la calidad del servicio.
- **Radioenlace por microondas:** Similar al caso de la red VSAT, la distancia y el número de usuarios no son factores influyentes en la prestación del servicio, aunque podría haber problemas con **las** señales manejadas si los equipos son de poca calidad.
- **Transmisión por fibra óptica óptica:** Debido a las características de la fibra y al poco uso dado a esta tecnología en gran parte del país, implementar una red de este tipo es muy complicado, más aún si los nodos no están geográficamente cerca entre sí.

4.9.5 Vigencia de la tecnología

- **VSAT:** Al no ser una tecnología muy explotada por los habitantes de las áreas rurales, resulta muy atractiva para estos, gracias a la gran cantidad de funciones que se pueden realizar y también a la alta calidad de todos los servicios.
- **Radioenlace por microondas:** Su novedad radica en el empleo de nuevas tecnologías en antenas, es decir, diseño, construcción y material es de fabricación. Esto va referido a software más especializado para el diseño de las antenas, sistemas de construcción más precisos y materiales que cumplen todas las normas y los estándares de calidad para un adecuado funcionamiento de las antenas.
- **Transmisión por fibra óptica:** Es una técnica muy innovadora debido a la poca utilización que se le ha dado en el país. Su gran ancho de

banda, la calidad del servicio y las velocidades en la comunicación son puntos favorables para la fibra óptica.

4.9.6 Evaluación final

Al analizar las características de las tres tecnologías seleccionadas, se puede concluir que la tecnología VSAT es la solución más adecuada para prestar servicios de telecomunicación en áreas rurales con alta calidad y costos razonables para los clientes.

CONCLUSIONES

Observando las tablas con los valores obtenidos de los cálculos efectuados para determinar las pérdidas atmosféricas en los enlaces satelitales de las estaciones terrenas ubicadas en localidades del Departamento de Tacna, se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- Que a mayor intensidad de las precipitaciones pluviales, se obtiene una mayor atenuación en la relación (C/No) tanto en el enlace de subida como en el enlace de bajada.
- Con respecto al comportamiento de la atenuación en función de la frecuencia, se puede apreciar que a medida que la frecuencia aumenta ante la presencia de precipitación pluvial, la señal radioeléctrica del enlace satelital se deteriora en mayor cantidad.
- Con los resultados obtenidos que se encuentran en las tablas de las pérdidas atmosféricas, se confirma lo planteado en las bases teóricas, donde se muestra la dependencia de la lluvia y la frecuencia de operación que afectan la calidad de los enlaces satelitales, es decir, que mayor intensidad de lluvia representa una mayor atenuación para los enlaces satelitales, y que a medida que se aumenta la frecuencia de operación la señal radioeléctrica se ve afectada en mayor cantidad.
- Con excepción de la estación Alto Perú, las estaciones VSAT de la red propuesta tienen un valor de $(E_b/N_0) > 10$ dB tanto para el enlace de subida, como para el enlace de bajada, lo que indica la calidad de los enlaces VSAT.
- De la comparación de las tecnologías posibles a implementar en localidades remotas, la tecnología VSAT es la solución más adecuada para prestar servicios de telecomunicación en áreas rurales con alta calidad.

RECOMENDACIONES

El estudio de las pérdidas atmosféricas en un enlace satelital es importante para el diseño de radioenlaces ya que se puede lograr la optimización de los ya existentes, en función de contrarrestar el efecto de la lluvia que altera la propagación de la energía electromagnética interrumpiendo la transmisión en los mismos.

Se requiere utilizar las herramientas informáticas (p.ejem. EXCEL), para optimizar los cálculos de las pérdidas atmosféricas, dado que las expresiones matemáticas utilizadas son muy complejas y a medida que se van empleando incrementan el error en el cálculo.

Es recomendable utilizar los modelos estadísticos desarrollados por la UIT según las diferentes Recomendaciones UIT-R del CCIR, a fin de tomar en cuenta las consideraciones técnicas para un mejor cálculo de los parámetros requeridos.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Bava, J. y Sanz, A. (1999). Microondas y recepción satelital. Buenos Aires, Argentina:

Caballero, A. (2003). Metodología de la investigación científica. Lima, Perú: edit. UDEGRAF S.A.

Cisneros, D. (2013). Diseño de una solución de comunicaciones para la localidad de Nuevo Loreto usando arquitectura punto-multipunto mediante transporte satelital y acceso inalámbrico. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Giraldo, A. y Castillo, A. (2006). Estudio de factibilidad de un sistema VSAT de comunicaciones para televisión y multimedia. Quindío, Colombia: Universidad de Quindío.

Hernández, J. (2000). Sistemas de comunicación por satélite. Utilización en los sistemas de navegación aeronáuticos. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.

Recomendación UIT-R 838 (1998). Modelo de la atenuación específica debida a la lluvia para los métodos de predicción. Ginebra, Suiza.

Rosado, C. (2000). Comunicación Por Satélite. Principios Tecnologías y Sistemas. México: Edit. LIMUSA S.A.

Tomasi, W. (2002). Sistemas de comunicación electrónica. México: edit. Prentice Hall Hispanoamericana S.A

Unión Internacional de Telecomunicaciones, CCIR (1985). Manual sobre Telecomunicaciones por Satélite. Ginebra, Suiza.

Valdivia, R. (2009). Elaborando la tesis (Una propuesta) Tomo II. Tacna, Perú: edit. Universidad Privada de Tacna.

DIRECCIONES URL

Redes Satelitales [Online]. Recuperado de:

<http://www.monografias.com/trabajos29/redes-satelitales>

Sistemas de Comunicación por Satélite [Online]. Recuperado de:

http://materias.fi.uba.ar/6679/apuntes/Redes_Satelitales_v2.pdf

Internet por Satélite [Online]. Recuperado de:

<http://www.hispasat.com/Detail.aspx?sectionsId=42&lang=es>

VSAT [Online]. Recuperado de:

http://www.upv.es/satelite/trabajos/pract_4/vsat_hpg.htm

LyngSat Network [Online]. Recuperado de:

<http://www.lyngsat.com>

Hoja Técnica Equipo VSAT Gilat Skystar Advantage [Online]. Recuperado de:
http://www.gilat.com/Products_SkystarAdvantage_TechnicalSpecs.asp

Consorcio INTELSAT [Online]. Recuperado de:

<http://www.intelsat.com>

Datos climáticos mundiales [Online]. Recuperado de:

<https://es.ckimate-data.org>

ANEXO 1
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPAMIENTO VSAT

ANEXO 2

**NOMOGRAMAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS
COEFICIENTES DE ATENUACIÓN POR LLUVIA Y CUADRO
RESUMEN DEL CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS POR LLUVIA**