



UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS
Laureate International Universities®

FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN PARA DETERMINAR PARÁMETROS
FÍSICOS Y LÓGICOS DE UN ENLACE SATELITAL EN EMPRESAS
CORPORATIVAS

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
establecidos para optar por el título de Ingeniera en Redes y
Telecomunicaciones

Profesor Guía
Ing. Iván Ricardo Sánchez Salazar

Autora
Tlga. Ana Lucía Villarreal Lara

Año
2015

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con la estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”

Iván Ricardo Sánchez Salazar
Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones
CI.18030456142

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

Ana Lucía Villarreal Lara
CI.1002864716

AGRADECIMIENTOS

A Dios por la sabiduría concedida y a mi esposo por su apoyo y amor incondicional.

DEDICATORIA

A mi hermana Margoth quien fue mi ejemplo y a mi hijo Nathan que es mi inspiración.

RESUMEN

En el siguiente trabajo se detalla el proceso realizado para el desarrollo de una aplicación que permite encontrar los parámetros más relevantes presentes en un enlace satelital, con la finalidad de obtenerlos de una manera rápida y eficaz y que puede ser utilizada por empresas *carrier*, contratistas y el personal técnico a cargo de la instalación.

Las empresas que trabajan como *carrier* pueden ingresar a la herramienta para obtener directa y rápidamente los datos a obtenerse en la instalación de los clientes que contraten servicio satelital, ayudándoles a verificar si el enlace es factible y de ser instalado almacenar la información para posteriores asistencias técnicas. También tendrán acceso como usuario únicamente para ingreso y lectura de datos, los contratistas y el personal técnico a cargo de la instalación gracias a un usuario y *password* el cual será asignado por el administrador de la herramienta, mismo que es el único que puede realizar cambios en la fuente del software. El personal técnico se beneficiará en el apuntamiento de la antena porque obtiene los ángulos de elevación y azimut información importante para enlazar la estación terrena con el satélite asignado.

Inicialmente, se debía tener claro que parámetros se ingresarán y cuales se obtendrá como resultado, por lo que se consultó las necesidades de las empresas que ofrecen el servicio de enlaces satelitales, se obtuvo los requerimientos de una empresa Carrier y una como contratista en el Ecuador, interactuando con el personal que está directamente a cargo de Ingeniería e instalación, de esta manera se clarificó la información a tomar en cuenta para el diseño de la aplicación.

Posteriormente, se consultó en diferentes textos y medios las fórmulas y parámetros que sirvieron para los cálculos matemáticos de un enlace. Teniendo claro la parte matemática y las necesidades de las empresas, se optó por

utilizar las tecnologías de desarrollo de software libre PHP, MySQL y Apache, por ser herramientas de entendimiento y uso más fácil, pero que se adaptan a la necesidad del trabajo actual.

Finalmente, para confirmar el funcionamiento de la aplicación se realizaron pruebas con enlaces reales de clientes ya instalados, analizando los resultados obtenidos manualmente y los obtenidos mediante la aplicación objeto del presente documento.

ABSTRACT

In this document we will describe the process needed to develop an application that will allow us to find the most relevant parameters found in a satellite link, so that carrier companies and technicians can obtain them quickly and efficiently.

Companies that work as carriers can access this tool directly and quickly in order to find data from customers that have already used this satellite service, allowing them to check if the link is installable, and recording data for future assistances.

They will also have a user name and password assigned by an administrator that will allow them to access certain information and make changes in the main source software.

Technicians will benefit from the alignment of the antenna because they could obtain elevation and azimuth angles, information needed in order to link the earth station with the assigned satellite.

Initially, they should be clear of which parameters will be inserted and what they will obtain as a result, for which satellite companies Carriers and Ecuador' contractor needs were consulted and their requirements inquired, getting involved with people who are in charge of engineering and installations, this way all the information is used in the design of the application.

We researched books and texts for formulas and parameters that were used for mathematical calculations for a link.

Having cleared the mathematical part and the necessities of the businesses, they choose to use technologies of free software development PHP, MySQL and Apache for being tools of easy understanding that adapt to the current necessities of different jobs.

Finally, to confirm the operation of the application they realized many tests with the links of real clients who have this service already installed, analyzing results with the app explained in this document.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
1. CAPITULO I. Marco Teórico	4
1.1 Arquitectura de una red Satelital	4
1.1.1 Estación terrena	4
1.1.2 Bandas de frecuencia	11
1.1.3 Segmento espacial.....	13
1.1.3.1 Descripción general de los satélites	13
1.1.3.2 Tipos de satélites	15
1.1.3.3 Posición satelital.....	16
1.1.5 Gama de servicios proporcionados.....	20
1.2 Métodos de acceso múltiple	20
1.2.1 Características	21
1.2.2 FDMA	22
1.2.3 TDMA	23
1.2.4 CDMA	24
1.3 Protocolos y Seguridad en los enlaces satelitales	26
1.3.1 Interconexión.....	29
1.3.1.1 Interfaz de capa física.....	30
1.3.1.2 Interfaz de protocolo de usuario	30
1.4 Tecnologías Satelitales Existentes.....	33
1.4.1 SCPC (<i>Single Channel Per Carrier</i>)	33
1.4.2 VSAT (<i>Very Small Aperture Terminals</i>).....	36
2. Capítulo II. Análisis de Implementación.....	39
2.1. Proceso de instalación - empresa A.....	39
2.2 Proceso de instalación - empresa B.....	44
2.3 Antecedentes y requerimientos	46
2.3.1 Estado actual del proceso de Ingeniería	46
2.3.2 Solución para subproceso de Ingeniería.....	47
2.4 Variables para el cálculo de parámetros.....	49

2.4.1	Angulo de elevación de la antena (α)	49
2.4.2	Azimut de la antena (β)	50
2.4.3	Potencia de recepción	50
2.4.4	Figura de Mérito (G/T)	51
2.4.5	Temperatura de ruido del sistema (T)	52
2.4.6	Factor y figura de ruido de la antena	52
2.4.7	Relación Portadora/Ruido térmico	53
2.4.8	Codificación FEC (<i>Forward Error Correction</i>)	53
2.4.9	Ancho de banda de la portadora (BW)	54
2.4.10	Pérdidas en el espacio libre (Lp)	55
2.4.11	Pérdida consecuencia de la absorción atmosférica	55
2.4.12	DFP (Densidad de Potencia Recibida)	56
2.4.13	Densidad de flujo por portadora en el satélite	57
2.4.14	PIRE Potencia Radiada Isotrópica Equivalente	58
2.4.15	Meu	58
2.4.16	Backoff de entrada y salida BOi y BOo	58
2.4.17	Relación portadora/ruido térmico C/T	60
2.4.18	Relación portadora/ densidad de ruido (C/N)	60
2.5	Cálculo del enlace	64
2.5.1	Cálculo ángulo de elevación	64
2.5.2	Cálculo de Azimut	65
2.5.3	Cálculo de la distancia entre las estaciones terrenas y satélite	65
2.5.4	Cálculos tiempos de retardo	66
2.5.5	Cálculo del Ancho de Banda (BW)	67
2.5.6	Cálculo de las pérdidas en el espacio libre ascendente	68
2.5.7	Cálculo de flujo (DFP)	69
2.5.8	Cálculo del Backoff de entrada y salida	70
2.5.9	Cálculos para la relación C/T ascendente	70
2.5.10	Cálculos para la relación C/T descendente	71
2.5.11	Cálculo de la relación C/T total	71
2.5.12	Cálculo de la relación C/N	72
2.5.13	Cálculo de las relación C/No	72

2.5.14 Cálculo de la relación Eb/No	72
3. CAPITULO III. Desarrollo de la aplicación	73
3.1 Herramientas a utilizar	75
3.1.1 PHP	77
3.1.1.1 Características.....	78
3.1.1.2 Operadores	80
3.1.2 MYSQL.....	82
3.1.2.1 Operadores	83
3.1.3 APACHE.....	84
3.1.3.1 Características	84
3.2 Desarrollo de la aplicación:.....	84
3.2.1 Modo Administrador	88
3.2.2 Modo Usuario	88
3.3 Pruebas y Simulaciones	89
3.3.1 Ingreso de datos en la herramienta.....	89
3.3.2 Ingreso de datos en ecuaciones	93
4. CAPITULO IV. Análisis de resultados y pruebas	103
5. CAPITULO V. Conclusiones y recomendaciones	106
5.1 Conclusiones	106
5.2 Recomendaciones	107
REFERENCIAS	109
ANEXOS	111

INTRODUCCIÓN

Las comunicaciones por satélite son hoy parte integral de nuestro nuevo mundo interconectado. Desde su inicio, las comunicaciones por satélite han generado un multiplicidad de nuevos servicios de telecomunicaciones o radio difusión de ámbito global o regional. (Sevilla, 1992, pp. 15-30).

Cabe recalcar que han permitido crear una red telefónica global con conmutación automática, aunque ya desde antes los cables submarinos comenzaron a conectar operacionalmente los continentes, solo las comunicaciones por satélite han permitido superar todos los obstáculos terrenales y establecer enlaces de comunicación totalmente fiables para telefonía, televisión y transmisión de datos, cualquiera que sea la distancia y la inaccesibilidad de los lugares a conectarse. (Sevilla, 1992, pp. 15-30).

Podría mencionarse que en junio de 1998 había cerca de 140 000 canales equivalentes en funcionamiento, contando solo en el sistema INTELSAT. (Intelsat, 2013).

Aunque el desarrollo de la parte de satélite en las grandes vías telefónicas internacionales han sido algo más lentas debido a la instalación de nuevos y avanzados cables submarinos de fibra óptica, los satélites siguen cursando la mayoría de tráfico telefónico público con conmutación entre el mundo desarrollado y el mundo en desarrollo, así como entre las regiones en desarrollo. Esta situación se mantendrá gracias a las ventajas de los sistemas satélite y sobre todo, a la sencillez y flexibilidad de la infraestructura requerida. (Sevilla, 1992, pp. 15-30).

Puede proveerse que el futuro de las comunicaciones por satélite dependerá cada vez más de la utilización eficaz de sus características específicas:

- Capacidad de acceso múltiple, es decir, conectividad punto a punto, punto a multipunto o multipunto a multipunto, en particular para tráfico

disperso de densidad media o pequeña o tráfico de voz/datos cursado entre estaciones terrenas pequeñas, de bajo costo (redes de comunicaciones de empresa o privadas, comunicaciones rurales, etc.).

- Capacidad de distribución (caso particular de transmisión punto a multipunto).
 - Radiodifusión de programas de televisión y otras aplicaciones de video y multimedia (servicios que están en plena expansión).
 - Distribución de datos, por ejemplo para los servicios de empresas o servicios de internet en banda amplia.
 - Flexibilidad para cambios del tráfico y de la arquitectura de red y también facilidad de explotación y de puesta en servicio.

Un factor importante en la reciente evolución de las comunicaciones por satélite es la sustitución casi total de la anterior técnica analógica convencional por la modulación y la transmisión digitales, que aportan todas las ventajas de las técnicas digitales en cuanto a tratamiento de la señal, realización del soporte físico, soporte lógico, reproducibilidad de resultados, facilidad de diseño, programación, velocidad, etc.

Gracias a lo antes mencionado, además de la continua y creciente necesidad de tener comunicación entre los continentes, las técnicas analógicas dieron la oportunidad para el desarrollo de los enlaces satelitales, haciendo actualmente que se convierta en uno de los medios más importantes para comunicar a nivel mundial.

Como antecedentes se puede mencionar que, los satélites de comunicación constituyen un papel importante en las redes de comunicaciones por el área de cobertura que cubren, por la seguridad de los datos que se transmiten y por la

gran posibilidad de poder instalar los equipos que lo conforman en casi cualquier lugar del mundo. Por ejemplo, un pozo petrolero en el Oriente quisiera conectar un canal de internet con otro pozo en la Costa Ecuatoriana, una opción de un enlace satelitales más conveniente y rápida de implementar, aún cuando otras tecnologías como la fibra óptica, microondas se han convertido en el mejor competidor debido a las grandes distancias y velocidades que alcanzan, no siendo siempre las más convenientes ya que los proveedores de telecomunicaciones carecen de los recursos necesarios para poder realizarlo y si lo intentan incurrirían en gastos lo cual incrementaría muchísimo el valor del servicio, disminuyendo la rentabilidad para la empresa proveedora y para el usuario.

Actualmente, las empresas de Telecomunicaciones que ofrecen enlaces satelitales ya sean de voz, internet y datos pueden llegar a un acuerdo para compartir recursos un mismo satélite, lo que les ayuda a manejar costos más bajos, beneficiando al usuario final ya que cada destinatario podrá recibirlos tres servicios con una sola antena. Instalar una antena tiene su grado de complejidad ya que se deben tener en cuenta algunos parámetros físicos o de configuración al momento de ubicarla y hacer que se interconecte con el satélite al cual se ha asignado.

El presente proyecto tiene como finalidad realizar un software que permita visualizar los parámetros necesarios que faciliten la instalación de enlaces satelitales, para de esta manera agilizarla disminuyendo tiempo y recursos.

La tarea empieza con algunos conceptos básicos que deben ser claros como: que es un enlace satelital, las partes que lo conforman, su funcionamiento, los diferentes tipos de tecnologías satelitales. Posteriormente, se hará el análisis de los cálculos y variables necesarias para establecer la conexión satélite y la estación terrena.

1. CAPITULO I. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se mencionan algunos conceptos generales que ayudan al desarrollo del presente trabajo.

1.1 Arquitectura de una red Satelital

Un enlace satelital está conformado en forma general de los siguientes elementos; 2 estaciones terrenas y el satélite el mismo que actúa como repetidor, los cuales trabajan en conjunto para poder transportar la información ya sea voz, datos o internet, los tres servicios pueden hacerse utilizando una misma antena.

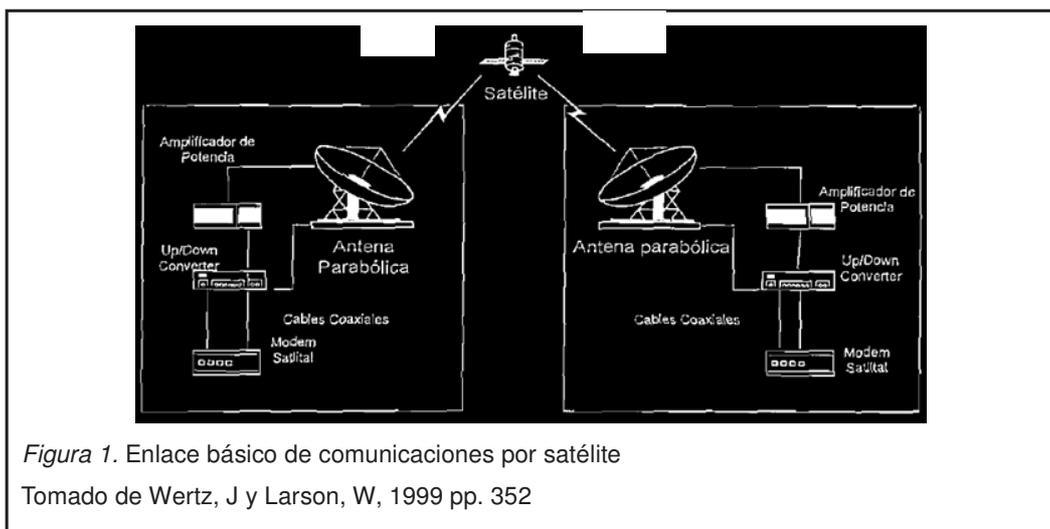


Figura 1. Enlace básico de comunicaciones por satélite

Tomado de Wertz, J y Larson, W, 1999 pp. 352

1.1.1 Estación terrena

El segmento terreno es el término con que se denomina la parte de un sistema de telecomunicaciones por satélite constituida por las estaciones terrenas, que transmiten a los satélites y reciben de éstos señales de tráfico de toda clase y que forman la interfaz con las redes terrestres.

La estación terrena es el terminal transmisor y receptor de un enlace de

telecomunicaciones por satélite. La configuración general de la estación terrena no es esencialmente distinta de la del terminal de radioenlace, pero la enorme atenuación (unos 200dB) de las ondas radioeléctricas a la frecuencia de la portadora a lo largo del trayecto en el espacio libre entre la estación y el satélite (36000 Km aproximadamente) suele exigir a los principales subsistemas de la estación terrena una calidad de funcionamiento muy superior a la del terminal de radio enlace.

Una estación terrena comprende todo el equipo terminal de un enlace por satélite. Las estaciones terrenas consisten, de los siguientes dispositivos principales:

- Antena
- Receptor (Feed)
- LNA o LNB
- *Transceiver*
- *Modem*

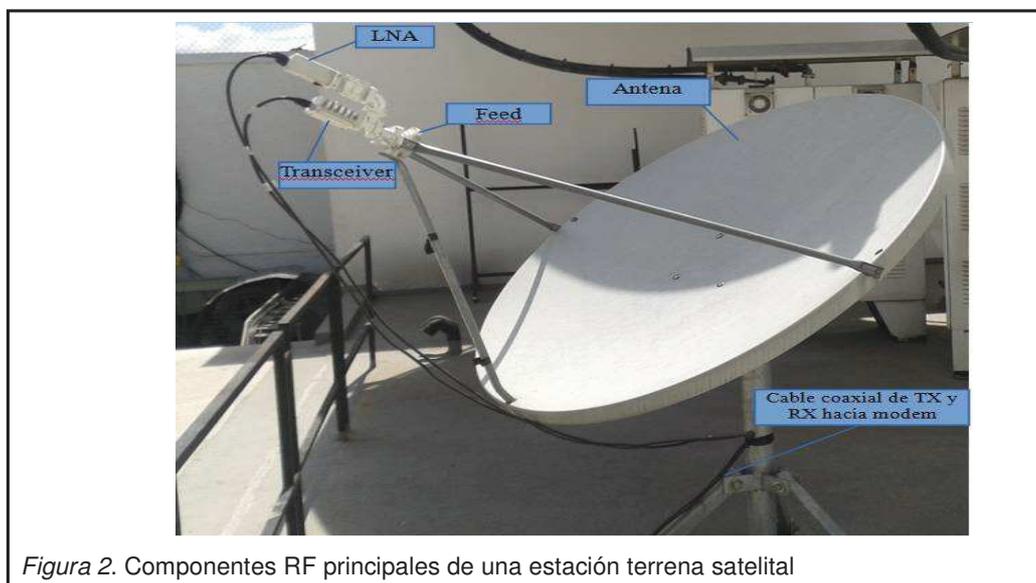


Figura 2. Componentes RF principales de una estación terrena satelital

- **ANTENA.-** En el Ecuador principalmente se observan antenas con un diámetro que varía de 50 cm. a más de 2.4 metros, esto dependerá del servicio que se quiera entregar. Por lo general, las antenas grandes

están equipadas con un dispositivo de seguimiento automático que las mantienen apuntadas constantemente hacia el satélite; las antenas de tamaño mediano pueden tener sistemas de seguimiento sencillo por ejemplo, seguimiento por pasos, mientras que las antenas pequeñas no suelen tener un dispositivo de seguimiento y aunque suelen estar fijas, generalmente se las puede orientar por medios manuales.

Las antenas de la estación terrena sirven tanto para transmisión como para recepción y han de tener las siguientes características de funcionamiento:

- Alta ganancia en transmisión y recepción, que requiere reflectores grandes en relación con la longitud de onda y de alto rendimiento.
- Bajo nivel de interferencia (en transmisión) y de sensibilidad a la interferencia (en recepción), lo que exige un diagrama de bajo nivel de radiación fuera del lóbulo principal (lóbulos laterales pequeños).
- Radiación con gran pureza de polarización (figura que traza en función del tiempo, para una dirección determinada, el extremo del vector de campo radiado y su sentido de giro, visto por un observador situado sobre la antena). (UIT. 2002, p.152).
- En recepción, escasa sensibilidad al ruido térmico por radiación del suelo y pérdidas diversas (se define la temperatura de ruido de antena como la temperatura a la que habría que calentar una resistencia idéntica a la de radiación para que generase la misma potencia de ruido) (UIT, 2002, p.213).



Figura 3. Antena de 1.2 metros de diámetro parabólica para enlace satelital

- **RECEPTOR (FEED o alimentador).**- Las antenas reciben señales muy débiles desde el satélite, mismas que son recibidas por el feed y posteriormente son entregadas al amplificador de baja potencia LNA al cual se encuentran conectadas por medio de una guía de onda.



Figura 4. Foto de feed para enlace satelital

- **LNA.**- este dispositivo maneja señales extremadamente bajas, para recibir las señales extremadamente débiles del satélite, la antena de la estación terrena debe estar conectada a un receptor de alta sensibilidad, es decir cuyo nivel de ruido térmico inherente sea muy bajo. El LNA ha de colocarse lo más cerca posible del diplexor del alimentador de la antena para evitar el ruido adicional causado por las pérdidas en las

guías de onda. El LNA suele ser de banda ancha de modo que un solo equipo amplifica simultáneamente todas las portadoras procedentes de la entrada receptora del diplexor de la antena.

La temperatura de ruido que poseen los LNA oscila entre los 30 a 60 °K en banda C y 85 a 110 °K en banda Ku. (UIT, 2002 p.582)

Puede mencionarse que existen 3 tipos de amplificadores de bajo ruido que pueden presentarse en una estación terrena:

- **LNA (*Low Noise Amplifier*)**: banda de entrada exactamente la misma que la banda de salida
- **LNB (*Low Noise Block*)**: para cualquier banda de entrada el LNB entrega banda L (950 -1450 Mhz)
- **LNC (*Low Noise Converter*)**: para cualquier banda de entrada devuelve frecuencia IF (frecuencia intermedia).



Figura 5. Foto de LNB para enlace satelital

- **TRANSCIVER.-** es un equipo que existe en diferentes marcas, modelos y potencias pero básicamente están formado por los mismos elementos: el *up converter*, el *down converter* y el amplificador de potencia HPA, que se encuentran encapsulados dentro un mismo bloque

o dispositivo.

- **Up converter**, es el módulo a cargo de la conversión de frecuencia de entrada IF (frecuencia intermedia) a cierta frecuencia determinada por la banda de operación a la que puede trabajar el transceiver. Para poder estimular al HPA, el nivel de salida de esta etapa deberá ser lo suficientemente fuerte. El nivel de entrada está estrechamente relacionado con las pérdidas del cable que tiene que ver con el modulador, la ganancia del HPA y la potencia que se necesita como resultado
- **Down conveter**, este módulo es lo contrario del *up converter* la señal recibida del LNA es ingresada al transceptor para luego ser amplificada y la banda de operación convertida IF posteriormente, la señal resultante es enviada al modem. La ganancia del *downconverter* está determinada por el largo del cable de vinculación con el modem y la sensibilidad a la entrada del mismo.
- **Amplificador de Potencia HPA**, el HPA encargado de amplificar la señal entregada por el *up converter* cuyo nivel está determinado por la ganancia del mismo. El transmisor (amplificador de potencia), tiene una potencia que varía desde unos pocos vatios a varios kilovatios, dependiendo del tipo de señales que han de transmitirse y del tráfico.



Figura 6. Foto de transceiver para enlace satelital

- **MODEM.-** es el equipo modulador y demodulador que superpone las

señales de radiofrecuencias a la portadora de IF(moduladores) o las extrae de la portadora FI (demoduladores). En la transmisión analógica, la modulación de frecuencia es el proceso normal, mientras que en la transmisión digital se utiliza la modulación por desplazamiento de fase (MDP), a menudo con cuatro niveles de fase. También se utiliza la modulación en dos fases denominada modulación bifásica, o la de ocho fases o más.

Un módem es una unidad que trabaja como interfaz para la interconexión con las redes terrenales (con equipo terrenal o directamente con el equipo y/o terminal de usuario).

Podría mencionarse que existen 2 tipos de módems:

- **Módem unidireccional**, tiene una característica principal sólo puede recibir datos, y ya que cuenta con un sólo canal de entrada, para recibir y transmitir datos debe tener como medio de conexión uno terrestre telefónica o terrestre. Los módems unidireccionales o también conocido como *sat-módem* sólo cuentan con un canal de entrada, también llamado directo o "forward"
- **Módem bidireccional**, tiene como característica principal que puede enviar y recibir datos ya que presenta un canal de entrada y uno de retorno vía satélite, lo que hace que no necesite una conexión adicional convencional.

Además del canal de entrada, cuentan con un canal de retorno (subida o *uplink*), vía satélite o DVB-RCS (*Return Channel via Satellite*). Los módems bidireccionales tienen las siguientes características:

Modulación, QPSK (para recepción) y OQPSK (para transmisión): la técnica de modulación (o *symbol rate*) QPSK consiste en la formación de

símbolos de dos bits, empleándose cuatro saltos de fase diferentes sobre la portadora (señal analógica); por lo tanto se forman cuatro puntos en la constelación de la señal, equidistantes y con la misma amplitud.



1.1.2 Bandas de frecuencia

La mayoría de los enlaces servicio fijo por satélite FSS, se utilizan para la transmisión desde una estación terrena a una espacial (enlace ascendente) y la retransmisión desde la estación espacial a una o a varias estaciones terrenas (enlace descendente). Como se requieren grandes capacidades de canales y en consecuencia, grandes anchos de banda, se eligen frecuencias muy altas. Estas frecuencias han de ser adjudicadas por la UTI.

Históricamente, ha sido corriente emparejar las bandas centradas en 6 GHz (enlace ascendente) y en 4 GHz (enlace descendente) y muchos sistemas del FSS todavía utilizan bandas (a menudo denominadas banda C). Los sistemas gubernamentales y militares utilizan tradicionalmente las bandas de 8 y 7 GHz (banda X). También hay bandas que funcionan en torno de los 14 GHz (enlace ascendente) y de 11-12GHz (enlace descendente) (bandas Ku). En el futuro, debido a la saturación de estas bandas, se utilizarán cada vez más las bandas de 30 GHz y 20 GHz (bandas Ka) pese a estar sujetas a una fuerte atenuación meteorológica. También se han distribuido a los enlaces de conexión otras bandas de frecuencias (UIT, 2002, p 13).

Todos estos sistemas son capaces de utilizar una antena común para la transmisión y la recepción, puesto que la relación de las frecuencias del enlace ascendente a las del enlace descendente no es mayor de 1.5. Otra ventaja de esta disposición es que las condiciones de propagación son relativamente similares y que las polarizaciones probablemente estarán correlacionadas en ambos enlaces.

El siguiente cuadro resume las principales bandas de frecuencia utilizadas en el servicio fijo por satélite, junto con sus aplicaciones típicas (UIT, 2002, p. 14).

Tabla 1. Tabla de frecuencias

Bandas de Frecuencia (GHz)			Utilización típica
Denominación actual	Trayecto ascendente (anchura de banda)	Trayecto descendente (anchura de banda)	
6/4 (Banda C)	5.725-6.275 (550 MHz)	3.4-3.95 (550 MHz)	Satélites nacionales: (Rusia: Stasionar y Express Internacional (Intersputnik))
	5.850-6.425 (575 MHz)	3.625-4.2 (575 MHz)	Satélites internacionales e internacionales Actualmente las bandas mas utilizadas: Intelsat Satélites nacionales: Westar, Satcom y Comstar (EE.UU.), Anik (Canadá), Stw y Chinastat (China), Palap (Indonesia), Telecom (Francia), N-Start (Japón)
	6.725-7.025 (300 MHz)	4.5-4.8 (300MHz)	Satélites nacionales (Plan FSS, Apéndice S 30B del RR)
8/7 (Banda X)	7.925-8.425 (500 MHz)	7.25-7.75 (500 MHz)	Satélites gubernamentales y militares
13/11 (Banda Ku)	12.75-13.25 (500 MHz)	11.2-11.45 (500MHz)	Satélites nacionales: (Plan FSS, Apéndice S30B del RR)
13-14/11-12 (Banda Ku)	13.75-14.5 (750 MHz)	10.95-11.2 11.2 11.45- 11.7 12.5- 12.75 (1000MHZ)	Satélites internacionales y nacionales en las Regiones 1y 3, Intelsat, Eutelsat, Rusia (Loutch), Eutelsat Telecom 2 (Francia), DFS Kopernikus (Alemania), Hispasat (Italia)
		10.95-11.2 11.45-11.7 12.5-12.75 (750 MHz)	Satélites internacionales y nacionales en la Región 2, Intelsat, Anik B y C (Canadá), G-Start (EE.UU.), Hispasat-1 (España)
18/12	17.3-18.1 (800 MHz)	Bandas SRS	Enlaces de conexión para el Plan SRS
30/20 (Banda Ka)	27.5-30 (2 500 MHz)	17.7-20.2 (2500 MHz)	Satélites internacionales y nacionales: diversos proyectos en estudio (Europa, Estados Unidos, Japón), Italsat (Italia)
40/20 (Banda Ka)	42.5-45.5 (3 000 MHz)	18.2-21.2 (3 000 MHz)	Satélites gubernamentales y militares

Nota: Resumen de las bandas de frecuencia utilizadas en el servicio fijo por satélite para satélites geoestacionarios.

Tomado de (UIT, 2002,p.14)

1.1.3 Segmento espacial

El segmento espacial de un sistema de telecomunicaciones por satélite consiste en los satélites y en las facilidades ubicadas en tierra que efectúan la función de telemando y el apoyo logístico para los satélites.

1.1.3.1 Descripción general de los satélites

El satélite es el núcleo de la red y realiza todas las funciones de comunicación en el cielo utilizando elementos activos. Comprende un conjunto de diversos subsistemas de telecomunicaciones y antenas.

El satélite está también provisto de equipos de servicio para realizar las siguientes funciones:

- Alimentación de energía
- Control de actitud
- Control orbital
- Control térmico
- Telemida, telemando y medición de distancia

La carga útil se compone de *transpondedores*, los que se clasifican en dos clases: *transpondedores* transparentes y *transpondedores* de tratamiento a bordo (OBP). Los que más se utilizan son los *transpondedores* transparentes, estos realizan las mismas funciones que los repetidores de un radioenlace; reciben transmisiones de la Tierra y, tras efectuar la amplificación y conversión de frecuencia, las retransmiten a la tierra. Las antenas asociadas con estos *transponder* están especialmente diseñadas para proporcionar cobertura a las regiones de la tierra comprendidas dentro de la red del satélite.

Los *transpondedores* de tratamiento a bordo tiene la capacidad de realizar una o más de las tres funciones siguientes: conmutación en frecuencia,

conmutación en espacio, o conmutación en tiempo, regeneración y tratamiento en banda base.

Los satélites de telecomunicaciones se basan en las tecnologías y técnicas utilizadas por la mayoría de los demás satélites artificiales.

Las tecnologías de repetidores (*transpondedores*) específica de este tipo de satélite y deriva de la utilizada por los equipos de telecomunicaciones terrenales. Algunos componentes, tales como las células solares y los tubos de ondas progresivas, se adaptan bien a las aplicaciones de satélite.

Otros componentes se derivan de elementos de producción normalizada que han sido seleccionados especialmente y están sujetos a verificación de fabricación y pruebas finales de control de calidad espacial.

La capacidad de una línea de producción para fabricar componentes de calidad espacial se verifica mediante un proceso conocido como calificación espacial. (UIT, 2002, p.311)

Por el momento, la mayoría de los satélites de telecomunicaciones, con algunas excepciones, describen una órbita circular en el plano ecuatorial a una altitud de 36000 km, demorándose un período de revolución de 24 horas en girar alrededor de la Tierra y parecen inmóviles en relación con un punto de referencia situado en la superficie de la misma.

Tal característica permite que el satélite proporcione cobertura permanente a una zona determinada, lo cual significa el diseño de las estaciones terrenas, que ya no tiene que efectuar el seguimiento de los satélites en movimiento a velocidades angulares considerables y además consigue una utilización más eficaz de los recursos de la órbita y el espectro radioeléctrico. Los satélites están por consiguiente situados en la órbita de los satélites geoestacionarios y reciben el nombre de satélites geoestacionarios.

1.1.3.2 Tipos de satélites

- **Satélites de comunicaciones.**- Resultan de la unión de la tecnología en el espacio y la tecnología de las comunicaciones, actualmente son muy utilizados por el gran beneficio que ofrecen.
- **Satélites experimentales.**-Estos se utilizan para el estudio de la tierra, su superficie y demás cuerpos celestes.
- **Satélites en meteorología.**-Son exclusivos para la observación de la atmósfera general.
- **Satélites Biológicos.**-tiene como principal objetivo estudiar las condiciones de la estancia de organismos humanos y brindar mayores garantías médicas.
- **Satélites de observación terrestre.**-Los satélites de observación terrestre son satélites artificiales diseñados para observar la Tierra desde una órbita. Son similares a los satélites espías pero diseñados específicamente para aplicaciones no militares como control del medio ambiente, meteorología, cartografía, etc. (Wikipedia, 2013), ayudan a detectar recursos naturales, monitorizar las condiciones de los cultivos, el nivel de la deforestación, la contaminación y su avance en los mares, entre otros.
- **Satélites militares.**- Contribuyen a las operaciones militares, la demanda por comunicaciones militares vía satélite a partir de 2009, está estimada en 390 para las bandas C, Ku, y Ka. La corporación Futron proyecta un aumento de 300 unidades hasta el 2019, o una tasa del 5,6 por ciento de crecimiento por año durante diez años. La demanda de comunicaciones militares vía satélite en 2009 está estimada en 16 Gbit/s, se espera que crezca a 28 Gbit/s en 2019. La mayor demanda por satélites militares procede de los EE.UU. La demanda de las fuerzas

internacionales de seguridad está creciendo también, especialmente de los estados de la OTAN y el Medio Este. Los satélites militares están siendo más indispensables en la zona de operaciones, además de uso en "país de origen" para entrenamiento, redistribución de datos y como red intermedia (Wikipedia, 2013).

1.1.3.3 Posición satelital

Aquellos satélites que están trabajando casi a la misma frecuencia deben tener una separación suficiente para evitar interferencia entre sí. La separación espacial que se requiere depende de ciertas variables:

- Ancho de banda y lóbulos laterales de radiación de las antenas, tanto de la estación terrestre como del satélite.
- Frecuencia de portadora de RF
- Límites aceptables de interferencia
- Potencia de la portadora de transmisión

Adicional, se requiere una separación espacial de 3 a 6 grados. Para reducirla interferencia entre satélites adyacentes se asignan diferentes frecuencias y varía la polarización de las antenas. (García, 2000, p.14)

La altura a la que se encuentran los satélites es una manera de poder diferenciar los mismos. Adicional, que de esta manera se toma en cuenta cuantos satélites se necesitan para una cobertura mundial y que potencia. Se obtendrá una mayor cobertura en los satélites que se encuentran a una altura mayor debido a cierto ancho de haz de la antena satelital. Sin embargo, para los satélites que se encuentran en órbitas más bajas se requieren menor potencia.

Mismas bandas de frecuencias son transmitidas por las antenas del satélite utilizando diferentes transpondedores, por medio de haces radiados

bidireccionales y con separación espacial.



- **Satélite IS-14**

Para el actual trabajo se opta por el satélite de INTELSAT ya que este opera flotillas de satélites sobre el océano Pacífico, Indico y Atlántico, haciendo de este el sistema de satélites para comercializar más grande del mundo. INTELSAT beneficia a 180 países del mundo con servicios internacionales de telecomunicaciones a costos más bajos.

El satélite INTELSAT IS-14 es el que se utilizará en los cálculos posteriores y a lo largo del documento, ya que este ofrece una pisada (cobertura) y una buena potencia (49dBW en banda Ku y 43.5dBW en banda C) a los países de Ecuador, Perú, Colombia, como se muestra en la figura 9.

La posición orbital es a 45.0 °W, declinación máxima 0.01, es un satélite en la órbita geoestacionaria.

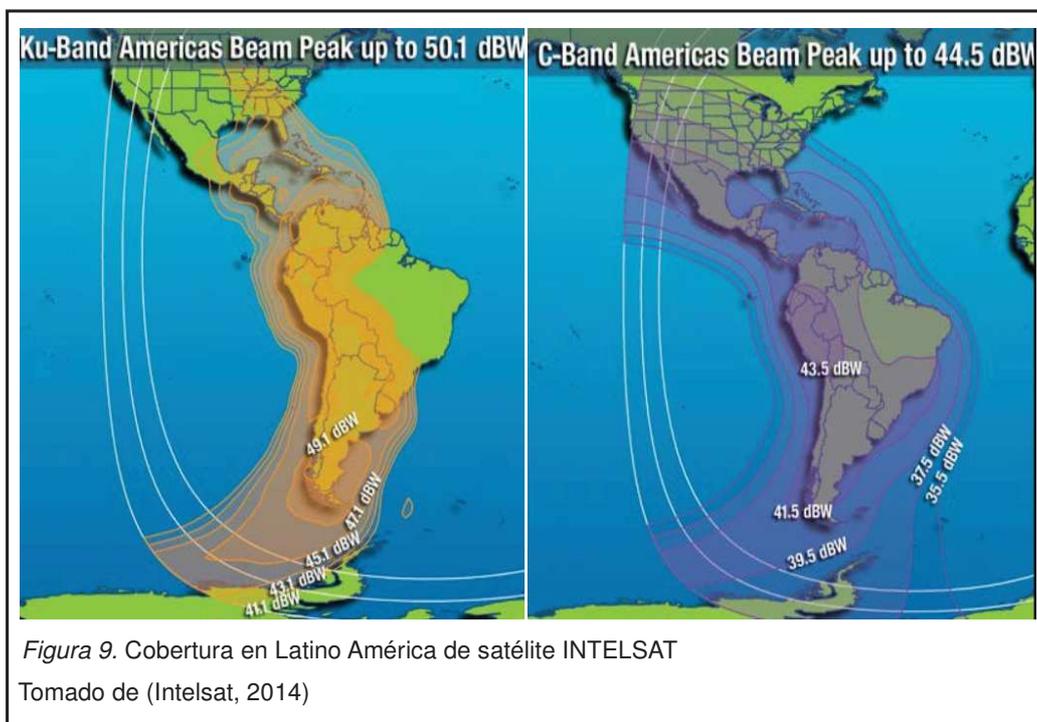


Tabla 2 Características satélite IS-14

Satélite IS-14	Banda C	Banda Ku
Número de transpondedores	32x36 MHz (20 lineales, 12 circulares) 8x72 MHz	20 x 36 MHz 2 x 72 MHz
Polarización	Lineal (H/ V) Circular (R/L)	Lineal (H/ V)
Frecuencia de bajada (GHz)	3,7-4,2	11,45-11,95
Frecuencia de subida (GHz)	5,925-6,425	14,0-14,5
G/T (dB/°K)	Europa/Africa: >-6,7 América: >-7,1	Europa/Africa: >-1,6 América: >-3,3
Rango para densidad de frecuencia espectral (dBW/m ²)	-94,00 a -73,00	Europa/Africa: -95,6 a -74,6 América: -96,0 a -75,0

Nota: Se detalla las características del satélite de Intelsat en banda C y banda Ku.

Tomado de (UIT, 2002, p.156)

Características de los satélites:

- **Reutilización de frecuencia mediante discriminación por polarización:** las mismas bandas de frecuencia son transmitidas por las antenas del satélite a través de diferentes transpondedores, utilizando dos polarizaciones ortogonales de la onda de radiofrecuencia.
- **Retardo de propagación:** El retardo de propagación es una característica importante de los enlaces por satélite. En el caso de los sistemas geoestacionarios, debido a la distancia de la Tierra al satélite, el tiempo de propagación entre dos estaciones a través del satélite puede alcanzar unos 275 ms, este tiempo variará dependiendo de la ubicación de la estación terrena y el satélite.
- **Flexibilidad y disponibilidad:** Las telecomunicaciones por satélite poseen otras características operaciones interesantes:
 - Instalación y puesta en servicio rápidas de las estaciones terrenas, independientemente de la distancia y accesibilidad de la zona a la que ha de darse servicio.
 - Gran flexibilidad para cambios de servicios y de los planes de tráfico y para todas las modificaciones en el segmento terreno (introducción de nuevas estaciones, mayor capacidad de tráfico, etc.)

Por último, el tiempo necesario para establecer redes satelitales y añadir estaciones se ha reducido. Por el contrario, una red terrenal cableada con fibra se asemeja a un gran proyecto de autopista, que tarda en diseñarse y ejecutarse, debido a que las portadoras deben en algunos casos pedir permiso en lugares en donde solo se pasan los cables en espacios soterrados, y en cuanto a las microondas algunas portadoras no tienen los nodo (antenas y equipos centrales) con línea de vista hasta todos los sectores, no pudiendo

alcanzar a toda el territorio nacional.

1.1.5 Gama de servicios proporcionados

Una posible clasificación de los servicios de telecomunicaciones por satélite, es la siguiente:

- Televisión, vídeo y audio
- Transmisión de datos y servicios de empresas
- Red digital de servicios integrados (RDSI)
- Comunicaciones de emergencia
- Servicios de restablecimiento de cables

Los satélites de comunicaciones han servido continuamente como complemento de los medios de transmisión más antiguos hasta el punto de constituir actualmente una técnica madura. Al mismo tiempo, los satélites, en gran parte debido a sus singulares características, han abierto numerosas oportunidades de nuevos servicios que antes no tenían atractivo económico.

Además, los satélites pueden adaptarse para satisfacer necesidades específicas (por ejemplo: telefonía, datos, televisión o combinaciones de ellos) utilizando técnicas analógicas o digitales, sobre cualquier zona geográfica. (UIT, 2002, p. 76)

1.2 Métodos de acceso múltiple

El ancho de banda es utilizado de tal forma que pueda ser compartido por más de una señal, con esto se puede conseguir que distintas estaciones terrenas transmisoras puedan utilizar un mismo *transpondedor* de satélite. El acceso múltiple se produce en el satélite, pero se origina por los enlaces desde distintas estaciones terrenas.

1.2.1 Características

Las principales características de estos métodos de acceso al medio son:

- Utilizados en las redes de comunicaciones, en las cuales varias estaciones comparten la capacidad de comunicación de la red.
- Utilizados para poder coordinar el uso conjunto de su capacidad.
- Gracias a estos métodos se tiene algunos parámetros de calidad como por ejemplo:
 - Conectividad
 - Ancho de banda
 - Potencia
 - Crecimiento de tráfico
 - Capacidad para manejar diferentes tipos de tráfico
 - Seguridad
 - Costo económico(Ramos, 2009)

Actualmente existen algunas implementaciones de sistemas de acceso múltiple, pero tres son los fundamentales:

Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA), en el cual cada estación tiene asignada una frecuencia portadora en la anchura de banda del *transpondedor*.

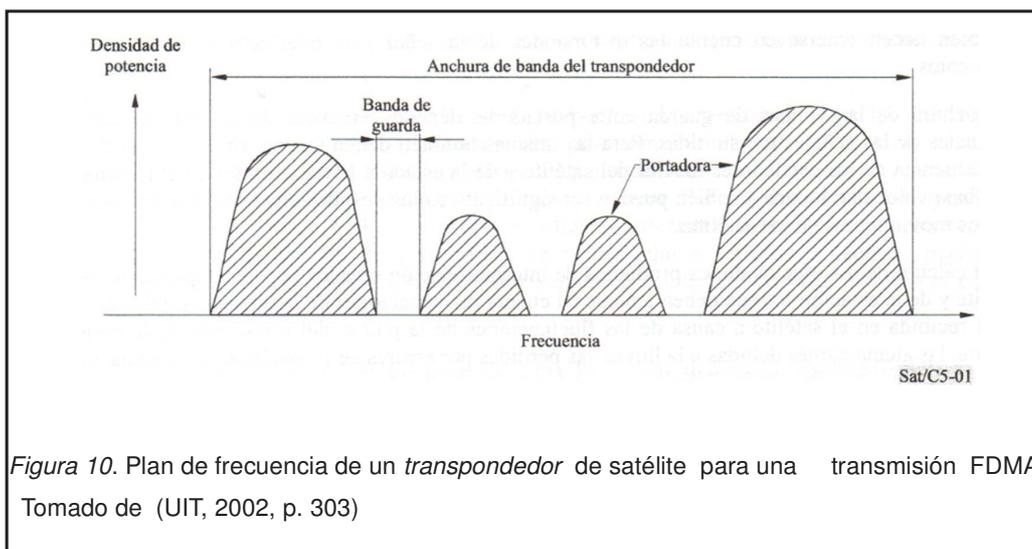
Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA), en el cual todas las estaciones utilizan la misma frecuencia portadora y anchura de banda, con distribución en el tiempo, es decir no transmiten sus señales simultáneamente.

Acceso múltiple por división de código (CDMA), en el cual todas las estaciones comparten simultáneamente la misma anchura de banda y reconocen las señales por distintos procedimientos, tales como la identificación de los códigos.

1.2.2 FDMA

El acceso múltiple por división de frecuencia fue la primera técnica de acceso múltiple utilizada en las comunicaciones por satélite, debido a que era más simple y flexible, sigue siendo muy utilizada.

Este acceso al medio se asignan frecuencias diferentes de un *transpondedor* a cada una de las portadoras transmitidas por la estación terrena, asignándose una determinada anchura de banda proporcional a la capacidad de las portadoras, por lo tanto, los recursos del satélite se están compartiendo.



La FDMA tiene un efecto desventajoso debido a las no linealidades de la cadena (unidades o equipos interconectados en serie en un canal, que modifican y adecuan la señal desde el receptor) del transpondedor y el amplificador de potencia, la transmisión simultánea de varias portadoras en el mismo *transpondedor* produce intermodulación entre dichas portadoras, generándose emisiones no deseadas. A fin de reducir el nivel de dichas

interferencias, la potencia de transmisión debe mantenerse considerablemente por debajo del punto de potencia de salida máxima es decir de la de saturación que depende de las características del modem, *transceiver*, tamaño de la antena, FEC, modulación, pero el valor promedio es de -45 dB, además debe controlarse la potencia transmitida por cada estación terrena.

1.2.3 TDMA

El acceso múltiple por división de tiempo es una técnica digital de acceso múltiple que permite al satélite recibir las transmisiones de distintos terminales terrenos en intervalos de tiempo separados denominados time slots, lo que permite que las portadoras transmitidas por cada terminal no se superpongan, es decir, mediante el uso de TDMA se divide un único canal de frecuencia en varias ranuras de tiempo obteniendo que a cada usuario se le asigna una ranura de tiempo específica para la transmisión, lo que hace posible que varios usuarios utilicen un mismo canal simultáneamente sin interferir entre sí.

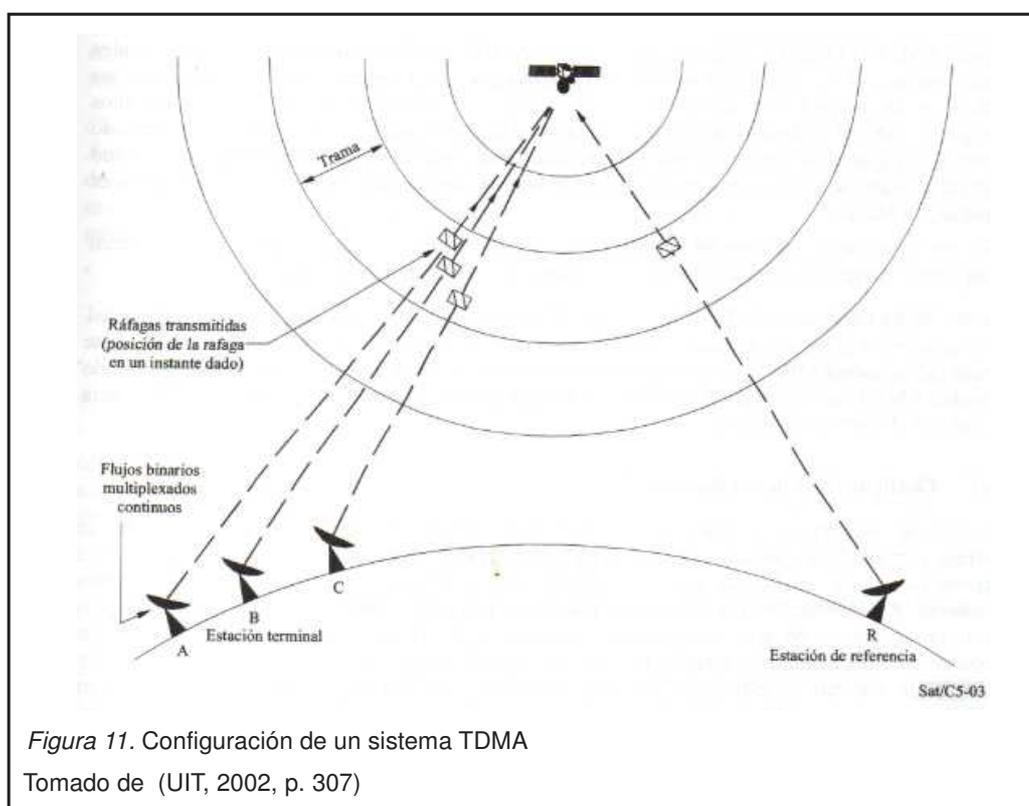


Figura 11. Configuración de un sistema TDMA

Tomado de (UIT, 2002, p. 307)

El sistema TDMA tiene las siguientes características:

- El *transpondedor* del satélite sólo transporta una portadora con su determinada frecuencia que abarca el tráfico procedente de varias estaciones terrenas. En consecuencia no existe intermodulación causada por no linealidad y el *transpondedor* del satélite puede funcionar próximo al nivel de saturación que depende de las características del modem, *transceiver*, tamaño de la antena, FEC, modulación), lo que ayuda a aprovechar eficientemente la energía del satélite.
- La capacidad no disminuye muy radicalmente con el aumento de estaciones terrenas.
- Al establecer nuevos requisitos de tráfico, las modulaciones de este nuevo tráfico pueden ser atendidos fácilmente mediante cambios en la duración y posición de las ráfagas.

1.2.4 CDMA

Los sistemas CDMA fueron diseñados originalmente para sistemas militares, actualmente se utilizan en sistemas comerciales. En este el transpondedor del satélite amplifica simultáneamente las señales de varios usuarios en una anchura de banda dada, pero a frecuencias diferentes. Las señales utilizan simultáneamente la misma frecuencia nominal, pero se extiende en la anchura de banda asignada gracias a un proceso de codificación específico, la anchura de banda ocupada puede ser toda la anchura de banda del *transpondedor*, pero casi siempre se restringe a una parte de la capacidad del *transpondedor*.

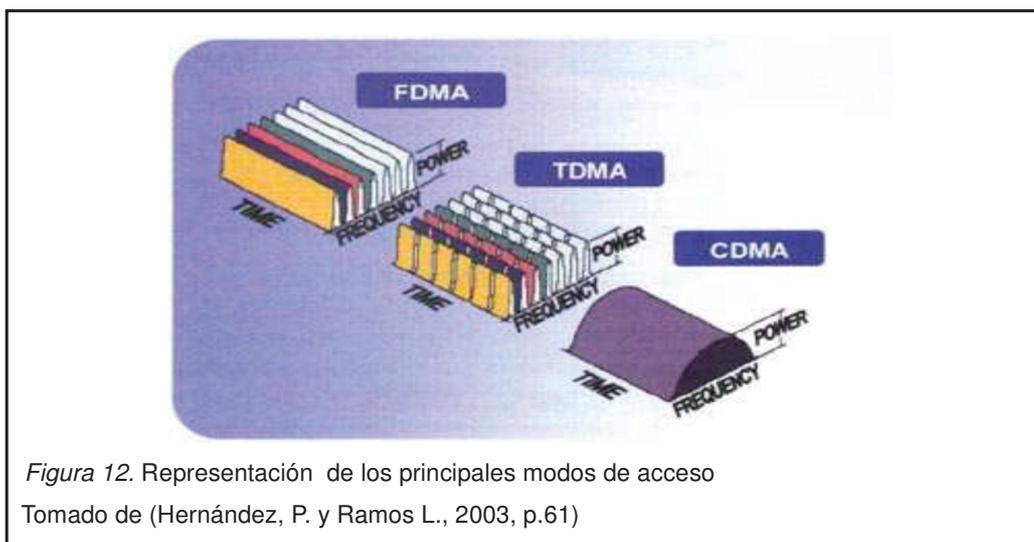
En lo que se refiere al proceso de codificación, a cada usuario se le asigna específicamente una "*course asigature*", es decir, su propio código

característico elegido de entre un conjunto de códigos asignados individualmente a cada usuario del sistema. Este código se mezcla, como una modulación suplementaria, con la señal de información útil. En la recepción, la estación es capaz de reconocer por su código la señal que le está destinada, entre todas las señales que recibe, y extrae la información correspondiente.

Nótese que las señales restantes recibidas pueden estar destinadas a otros usuarios, pero pueden así mismo proceder de emisiones indeseadas, lo que otorga al CDMA ciertas características de protección contra interferencias. Para esta operación, en la que es necesario identificar una señal entre varias que comparten la misma banda al mismo tiempo, se utilizan técnicas de correlación (UIT, 2002, p.316).

En cuanto al proceso de codificación a cada usuario se le asignará su propio código característico elegido de entre un conjunto de códigos asignados. La temperatura de ruido que poseen los LNA oscila entre los 30 a 60 [°K] en banda C y 85 a 110 [°K] en banda Ku individualmente a cada usuario del sistema, este código se mezcla, como una modulación suplementaria, con la señal de información útil.

En la recepción, la estación es capaz de reconocer por su código la señal que le está destinada, entre todas las señales que recibe y extrae la información que le corresponde. Hay que notar que las señales restantes recibidas pueden estar designadas a otros usuarios, pero pueden así mismo proceder de emisiones no deseadas, por lo que CDMA presenta ciertas características de protección contra interferencias para lo cual se utilizan técnicas de correlación.



1.3 Protocolos y Seguridad en los enlaces satelitales

En las redes satelitales puede la información ser agrupada y transmitida como paquetes de datos. El modelo de referencia de protocolos que da la UIT, para la interconexión de sistemas abiertos consta de siete capas, las cuatro capas superiores contiene los protocolos de comunicación de extremo a extremo entre los sistemas que se conectan. Las tres capas inferiores contienen los protocolos y la interfaz de red para las transmisiones de los paquetes de datos entre redes.

Un problema fundamental relacionado con la transmisión fiable de la información, es la recuperación con la mayor exactitud posible de la información tras haber sido transmitida por un canal de comunicación en presencia de ruido y de otras interferencias y la técnica para su tratamiento consiste en la codificación del canal, también llamada codificación con control de errores.

Existe un procedimiento de codificación para el control de errores que es la corrección de errores en recepción sin canal de retorno (FEC, *forward error*

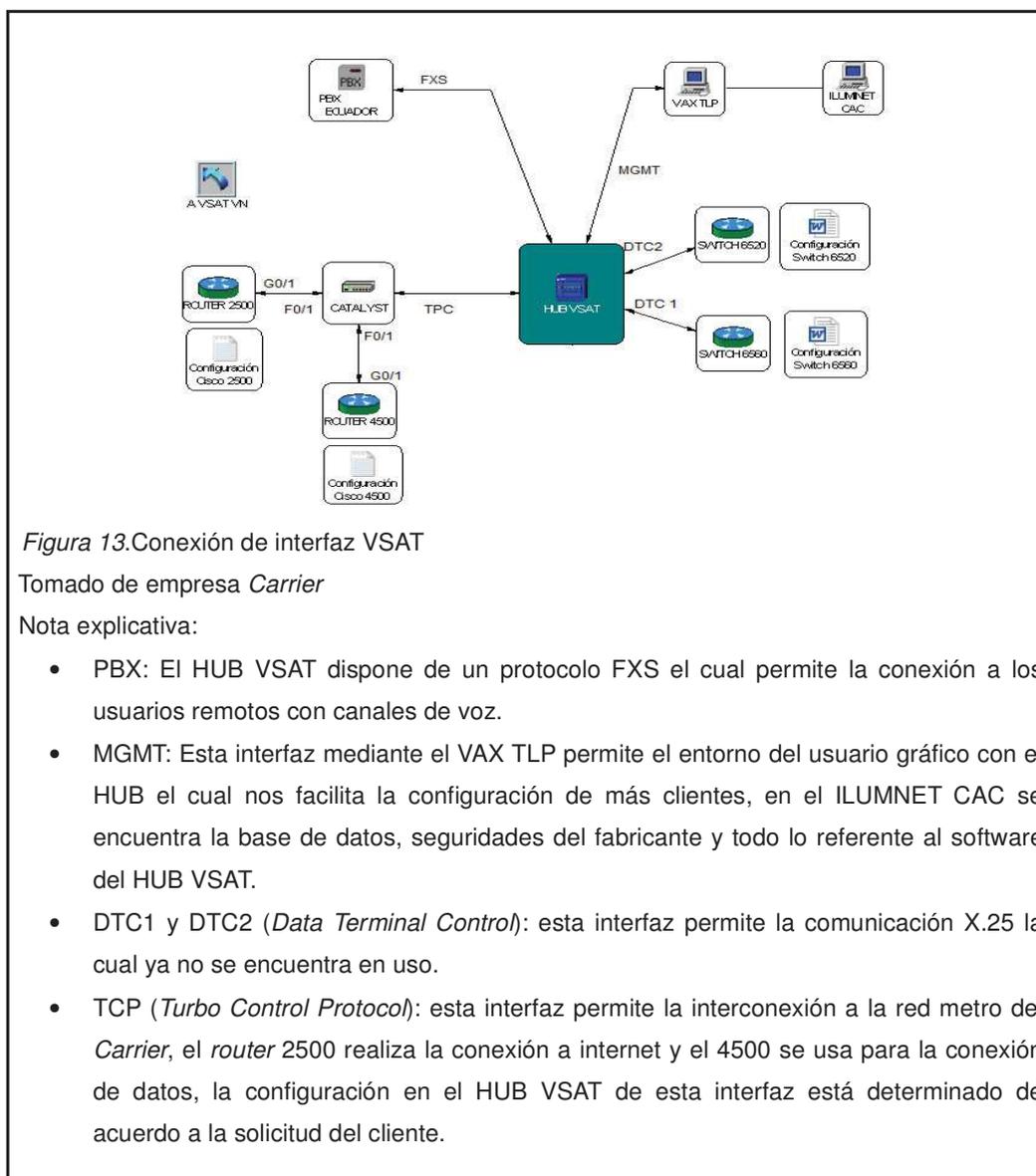
correction) que corrige los errores en la recepción sin necesidad de realimentar información alguna al extremo transmisor, no se introduce ningún retardo adicional salvo el tiempo de tratamiento.

Gracias a la FEC se mejora la calidad de un enlace de transmisión digital y la mejora puede apreciarse en una reducción de la tasa de errores en los bits, estrechamente relacionada con el criterio de calidad de servicio y una mejora en el E_b/N_0 (o en el C/N_0) que se considera en el balance de enlace.

Las redes satelitales se utilizan principalmente como redes de datos privadas independientes que interconectan una serie de terminales de datos de usuario o grupos de terminales que interactúan con otras redes satelitales distantes y estaciones primarias que a su vez interactúan con la central principal de la red satelital principal.

En término de protocolos pueden dividirse en un núcleo y en unas interfaces de red. Las interfaces de red están situadas en los extremos a través de la cual se conectan los usuarios con la red satelital principal. También hay una interfaz de red en la estación principal conectada a una estación primaria alternativamente, a otras redes terrenales. Cada interfaz de la red puede configurarse de forma que sirva para cada usuario, independientemente de otras interfaces.

Todas las conexiones de las interfaces se realizan a través del HUB VSAT como se muestra en la siguiente gráfica:



Muchas de las nuevas aplicaciones de las comunicaciones por satélite se implementan en el marco de sistemas de satélites autónomos e implican la conexión de enlaces o de redes de satélite, ya sea directamente con los usuarios finales o con redes de comunicación privada. Dichas aplicaciones incluyen entre otras, redes de datos privadas (VPN), redes de comunicación rurales, etc. Estas aplicaciones utilizan pequeñas estaciones terrenas económicas, denominadas a menudo "VSAT" (terminal de pequeña apertura) que es una estación terrena con una pequeña antena.

Emulación de protocolos.-La mayoría de los protocolos de comunicación de datos, tales como los que se basan en el protocolo de enlace de datos de alto nivel, utilizan algún tipo de acuse de recibo para asegurar la transmisión correcta de la información. Una estación receptora debe enviar un cierto número predeterminado de paquetes. La estación que envía puede no proceder a transmitir el nuevo conjunto de paquetes de datos antes de que le haya llegado el acuse de recibo. Un parámetro denominado tamaño de ventana define el número máximo de paquetes no acusado, a este proceso se le llama emulación de protocolos.

El concepto de emulación de protocolos se utiliza para superar los efectos de la degradación de la calidad de los protocolos debido al retardo del enlace por satélite. Adicional, es necesaria la emulación de protocolos para aquellos que se basan en la interrogación secuencial (SDLC; es un protocolo de nivel de enlace por bit y *BiSync*; protocolos de comunicación utilizados para conectar equipos terminales distantes a la estación primaria, en la cual un computador central realiza una invitación a transmitir por turno a terminales distantes para que envíe sus paquetes de datos.

El proceso de emulación de protocolos se realiza en forma cooperativa entre la interfaz de protocolos de usuario y la cabecera de protocolo.

1.3.1 Interconexión

Generalmente las estaciones en los usuarios finales tienen varios tipos de interfaz de red, cada tipo consta de la interfaz de capa física y de la interfaz de protocolo de usuario para lograr una interconexión adecuada con el equipo terminal de datos de usuario local. También, puede haber una disposición similar entre el equipo de la estación VSAT principal y el servidor central.

1.3.1.1 Interfaz de capa física

La interfaz de capa física efectúa la conexión física del equipo terminal de datos de usuario con la interfaz de la red satelital que se encuentra instalada en el usuario final, cada una de estas puede tener varias interfaces físicas independientes y reconfigurables que sirven para normas físicas síncronas y asíncronas a diversas velocidades de datos.

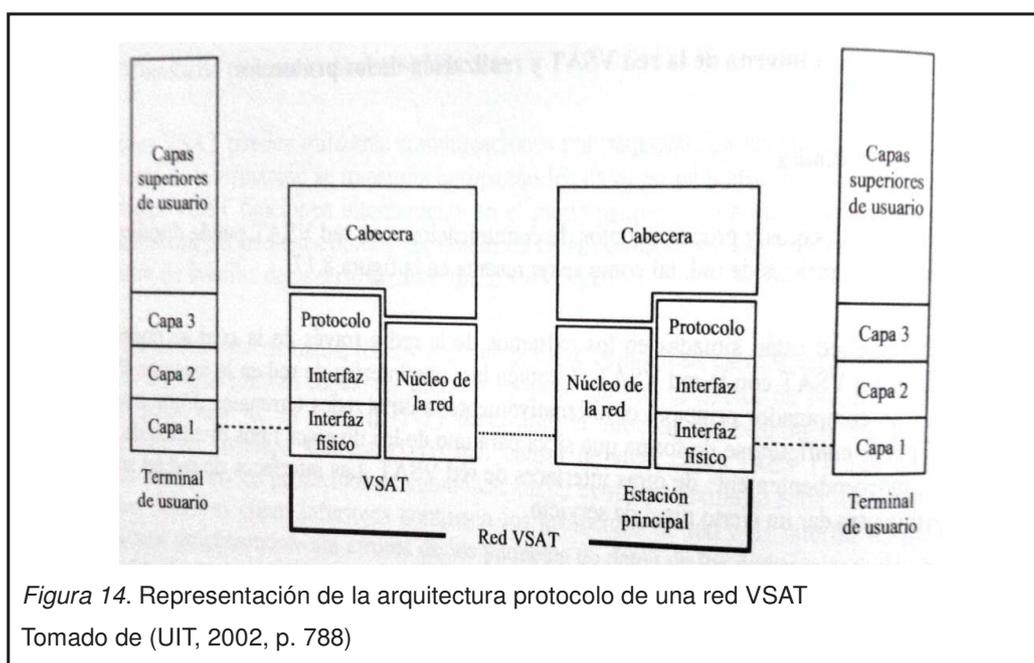


Figura 14. Representación de la arquitectura protocolo de una red VSAT

Tomado de (UIT, 2002, p. 788)

1.3.1.2 Interfaz de protocolo de usuario

La interfaz de usuario permite conectar el equipo de usuario a la red con sus protocolos específicos.

La información de configuración de la red, que incluyen la información de la interfaz del protocolo de usuario, se mantiene y actualiza en los bancos de datos de configuración de la red situados en la estación primaria. Cada interfaz de la red puede configurarse a distancias desde la principal, la que tiene en su base de datos almacenada los parámetros de las interfaces. Esta variabilidad permite a la red adaptarse a la interfaz de usuario y simplifica

considerablemente la tarea de los usuarios cuando se sustituyen las actuales redes de datos por redes

The screenshot displays a configuration window for a VSAT user, titled 'Remote'. The interface is divided into several sections:

- Information Tab:** Contains fields for Name, Model Type (X3), Serial Number (159170), Derived ID (DID) (33713602), Inroute Group (Evo-Up1024K), User Password (iDirect), and Admin Password (P@55w0rd!).
- Customer Section:** Includes fields for Name, Phone Number, Commission Date (MAR-2014), Contract Number (EC1024K1A1), and Site Notes.
- Distributor Section:** Includes fields for Name, Phone Number, and Fax Number.
- Transmit Properties:** Includes Carrier Name, L-Band Frequency, TDMA Initial Power (-18 dBm), TDMA Max Power (-16 dBm), 1 dB compression point (-15), and a checkbox for Lock to inroute.
- Receive Properties:** Includes Carrier Name, L-Band Frequency, and checkboxes for Rx Only and Rx Only Multicast (with a 60-second timeout).
- Other Settings:** Includes checkboxes for Active, Link Encryption, Sleep in (0) seconds, MUSIC Box, Disable Tx PWM, Compression (TCP payload, UDP header, UDP payload, CRTP), and Mesh (Enabled).

At the bottom of the window, there is a caption: *Figura 15. Interfaz de configuración del Usuario Tomad de red VSAT Carrier*

VSAT. Algunos protocolos utilizados en esta interfaz son los siguientes:

a) Protocolo *BiSync*

El *Bisync* o BSC es uno de los primeros protocolos de comunicaciones utilizados para conectar un equipo terminal distante a servidores centrales. Se basa en la interrogación secuencial, la selección y la transferencia de datos entre una estación rectora es decir el computador central o procesador de cabeza y los terminales distantes es decir los tributarios. La estación rectora solicita continuamente datos de las

distantes enviando la secuencia de interrogación que contiene la dirección única asignada a una estación distante particular. Cuando la estación distante tiene que enviar datos al computador central, es decir, un usuario compone la clave de entrada, se envía datos respondiendo a la interrogación.

Siempre que una estación rectora tenga datos que enviar a una distante, se envía una secuencia de selección seguida de datos. Se añade una verificación de bloque al final de cada mensaje para poder detectar errores. Si se detecta un error, esta estación receptora responde con un acuse de recibo negativo o no responde y el proceso de selección se repite.

El protocolo *BiSync* no permite que se produzcan múltiples tramas sin acuse de recibo y provoca una especie de línea de parada y espera para cada trama individual. Para poder enviar los datos de forma eficaz a través de la red satelital debe retirarse la indicación de parada y espera de la parte de retardo largo de la conexión mediante un proceso de emulación de protocolo y sustituirla por un protocolo que sirva para esta red por satélite.

b) Protocolo SDLC

El SDLC es un protocolo de nivel de enlace por bits que constituye una subclase del protocolo de control de enlace de datos de alto nivel (HDLC; High-Level Data Link Control, control de enlace de datos de alto nivel) normalizado por el UIT-T y la ISO. En el modo de respuesta normal, todas las transferencias de datos se inician en la estación primaria y se utiliza un proceso de interrogación secuencial para solicitar datos del terminal (estación secundaria).

El SDLC permite el paso de múltiples tramas sin acuse de recibo generalmente 7 o en algunos casos 127, lo que se traduce en un mejor

caudal por las conexiones de satélite que en el caso del BiSync. De todas maneras, aún hay que emular el mecanismo de interrogación secuencial para lograr un funcionamiento eficaz en la red satelital.

c) Protocolo x.25

En la red x.25 terrenal, cada nodo de la red efectúa un acuse de recibo local de los paquetes de datos recibidos. Por lo tanto, la interfaz del protocolo de usuario x.25 con la red satelital es más directo que el de los SDLC o *BiSync*.

La interfaz del protocolo de usuario envía los acuses de recibo locales al equipo de usuario como lo harían los nodos y los DCE en la red x.25 terrenal. Como no existe retardo de satélites a través de esta interfaz x.25 local, los valores del temporizador y de los tamaños de ventana de los protocolos en el equipo de usuario no tienen que modificarse si se requiere utilizar con redes VSAT.

Los valores de temporizador de estos procedimientos que requieren intercambios de extremo a extremo (ejemplo: conexión de llamada, liberación de llamada, etc.) son significativamente mayores que el retardo de ida y vuelta a través del satélite, por lo que también puede permanecer sin cambios en el equipo de usuario.

1.4 Tecnologías Satelitales Existentes

Según el tipo de tecnología de acceso que utilizan podemos clasificarlas en:

1.4.1 SCPC (Single Channel Per Carrier)

En un sistema SCPC (sistema de un solo canal por portadora), cada portadora es modulada por un solo canal vocal o de datos a media o baja velocidad. En el caso de telefonía, este canal digital puede ser objeto de diversas formas de

tratamiento.

Los sistemas SCPC son eficientes en costos, en el caso de redes con un número significativo de estaciones terrenas, cada una de las cuales necesita tener un número reducido de canales que pueden tener una capacidad de transmisión en algunos casos como referencia de 5 Mbps. En caso de un tráfico relativamente intenso, otro tipo de sistemas pueden ser más económicos.

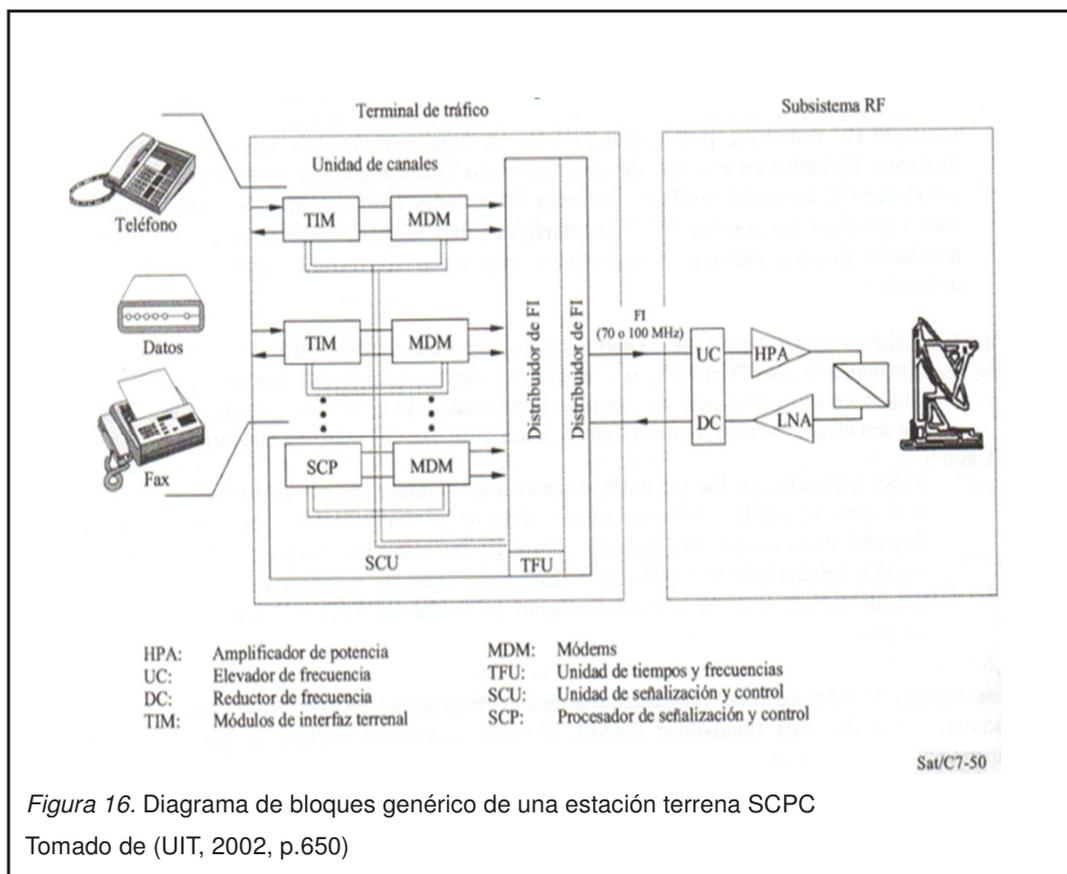
Se suele utilizar las comunicaciones SCPC cuando el tráfico es de baja densidad. Hay dos tipos principales de funcionamiento.

- Enlaces punto a punto para tráfico de baja densidad
- Redes SCPC dedicadas, para comunicaciones de baja densidad con varios emplazamientos dispersos. Ejemplos de este tipo de funcionamiento lo constituyen las redes nacionales de las zonas rurales, las zonas insulares, las redes comerciales, etc.

Existen 2 arquitecturas posibles de redes SCPC dedicadas

- Redes en estrella para las comunicaciones entre una estación central o principal (denominada “central” o “hub”) y varias estaciones terrenas pequeñas en emplazamientos distantes, en este caso la comunicación entre dos estaciones distantes sólo puede efectuarse a través de la central, o sea mediante dos saltos del satélite.
- Redes malladas, en las que todas las estaciones distantes son de igual rango. En las redes malladas se puede establecer enlaces directos de un solo salto entre dos estaciones distantes distintas. Sin embargo, hasta en las redes malladas se suele instalar una estación terrena central “principal”, destinada a controlar y supervisar la red así como a asignar los circuitos en el funcionamiento en modalidad DAMA.

Los enlaces SCPC pueden ser previamente asignados (PAMA, *Pre Assigned Multiple Access*) o por demanda (modalidad DAMA, *Demand Assigned Multiple Access*)



En forma general:

- El subsistema de RF, con la antena, los amplificadores de RF de emisión y recepción (AP y LNA) y los convertidores elevador y reductor de frecuencia (UC, *Up converter* y DC, *Down converter*).

El terminal de tráfico, el equipo común compartido por todas la unidades de canal integrado en ciertos casos, por un distribuidor de FI, los amplificadores de FI, los osciladores de referencia (unidad de tiempos y frecuencia, TFU, *time and frequency unit*), y las unidades CAG (Control Automático de Ganancia) y

CAF (Control Automático de Frecuencia). En las redes dedicadas, el equipo común suele incluir así mismo la unidad de señalización y control (SCU, *signalling control unit*) (UIT, 2002, p.649).



1.4.2 VSAT (*Very Small Aperture Terminals*)

Terminales de muy pequeña abertura, se introdujo en los años ochenta para designar a las estaciones terrenas pequeñas que se suelen utilizar en el marco de los sistemas satelitales VSAT o redes VSAT de comunicación de empresas

privadas. De hecho, el término sigue utilizándose ampliamente, aunque no coincide con ninguna definición exacta, ya que ha supuesto el éxito de un mercado realmente nuevo con la introducción de conexiones directas de bajo costo, por satélite, de varios usuarios y que son centralizadas de información o comunicaciones y a la producción en grandes cantidades (decenas de miles) de estaciones terrenas pequeñas para estos usos. (Angulo, 1989, p.207)

Información básica de las VSAT

- Las estaciones terrenas VSAT suelen ser redes cerradas para aplicaciones dedicadas ya sea para difusión de información (VSAT de sólo recepción) o para intercambio de la misma (VSAT de emisión/recepción).
- Las estaciones terrenas distantes VSAT suele suelen utilizarse directamente en los locales del usuario desatendidas. Su densidad de implementación puede ser elevada.
- Las estaciones terrenas VSAT suelen formar parte de una red con topología “estrella” consiste en una estación central relativamente grande (estación principal o *hub*), y muchas estaciones terrenas VSAT (distantes). Sin embargo, en algunas redes funcionan con una configuración punto a punto o “malleada”, sin estación central.
- Las estaciones terrenas VSAT suelen utilizar transmisión digital con velocidad binaria media o baja (2 Mbit/s). (UIT, 2002, p.521).

Las estaciones terrenas distantes VSAT están equipadas con antenas pequeñas: los diámetros están limitados a 2.4m.



Figura 19. Estación terrena de VSAT en cliente ubicado en la Isla Puna

El diseño genérico de la estación central es muy semejante al de la clásica estación terrena, en lo que respecta a los equipos RF y FI. Las principales diferencias se encuentran en los equipos de procesamiento digital y de banda base. De hecho, para reducir los costos de inversión, se puede utilizar el equipo de RF de una estación terrena preexistente (incluida su antena) que resulte apropiada.

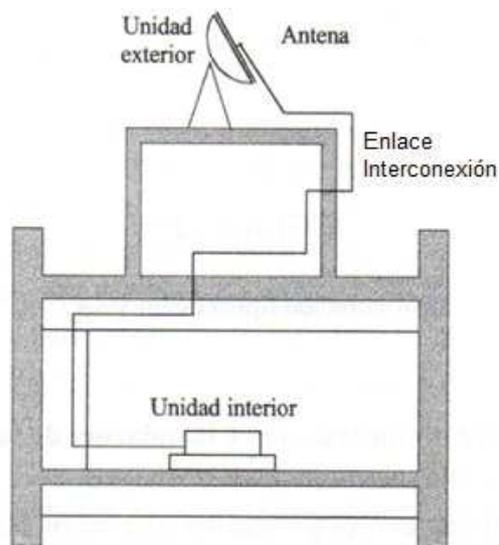


Figura 20. Instalación típica de una VSAT
Tomado de (UIT, 2002, pp.530)

2. Capítulo II. Análisis de Implementación

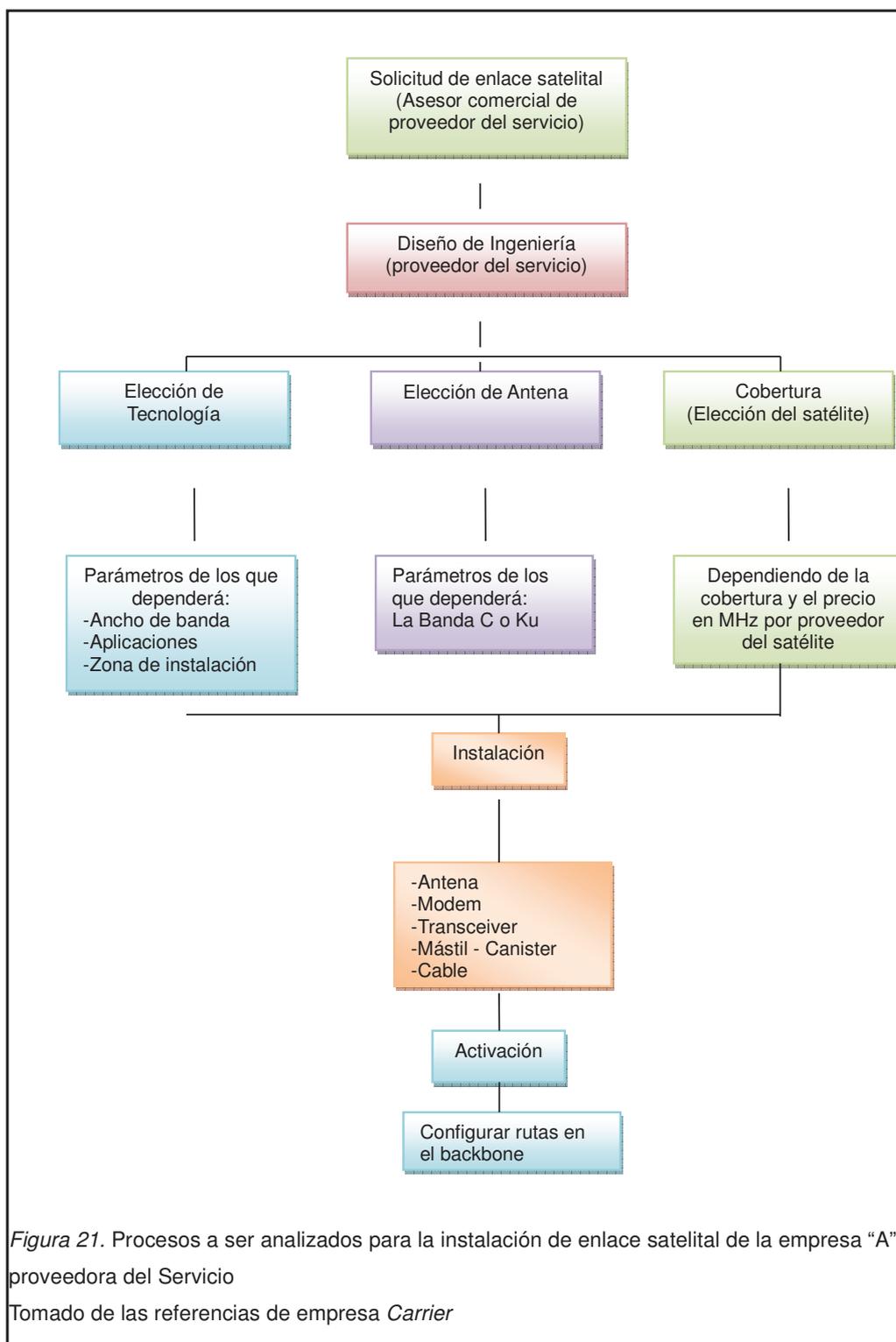
Actualmente, las telecomunicaciones satelitales presentan una considerable relevancia económica para las empresas que ofrecen enlaces satelitales y para los usuarios finales que los tienen como única o mejor opción. Instalar un enlace satelital tiene su grado de complejidad dependiendo de la tecnología, la ubicación, la potencia requerida, el tamaño de la antena, las condiciones de terreno, condiciones climáticas, etc. lo que hace que las empresas que ofrecen este tipo de enlaces tengan procesos que ayuden a encaminar paso a paso la evolución de la instalación, desde el momento en que se llega a un acuerdo con el cliente hasta la puesta en marcha del enlace.

Parte de este capítulo consiste en detallar el proceso que dos empresas de telecomunicaciones una de ellas *carrier* y la otra contratista, para determinar como la aplicación que es el objetivo de este trabajo puede ayudar a las empresas que brindan servicios de comunicación satelital. Adicional, se podrá ver que información es necesaria para el desarrollo de la aplicación.

Los nombres de las Empresas mencionadas no pueden ser revelados debido a solicitud de las mismas, razón por la que se les definirá como empresa A y empresa B

2.1. Proceso de instalación - empresa A

Se presenta un gráfico que es parte del proceso general que la empresa realiza para la instalación de los enlaces satelital, se describirá los puntos más relevantes para el desarrollo del presente trabajo, es importante mencionar que en el Anexo 1, se encuentra el proceso completo que sigue la empresa incluyendo el diseño del enlace hasta llegar a la instalación.



- **Solicitud enlace satelital**

De acuerdo a lo indicado por la empresa este cargo del departamento comercial. Luego de que el asesor comercial en conjunto con el cliente acuerden que la mejor ó única opción es un enlace satelital, se envía la solicitud de instalación, misma que deberá cumplir los requerimientos acordados y solicitados por el cliente.

Aún, cuando se trata de un enlace satelital que cubre una determinada zona geográfica y que puede ser instalado en cualquier medio, el departamento comercial solicita un *survey* (reconocimiento) del lugar en donde se realizará la instalación de la antena satelital, con la finalidad de confirmar factibilidad.

- **Diseño de ingeniería**

El diseño de ingeniería (área de satelitales), es la parte más crucial para nuestro análisis ya que de las decisiones que esta área tome, dependerá el resto del proceso y cuanto tiempo lleve la instalación. Las actividades que se realizan en esta área son las siguientes:

- **Determinar tecnología a instalar**

Uso de los datos del *survey* y necesidades del cliente. La tecnología que se escoge depende de la capacidad que sea solicitada por el usuario, de la disponibilidad que la empresa proveedora del servicio tenga a nivel de satélite e infraestructura de su red, e incluso la disponibilidad de equipos que forman parte de la tecnología.

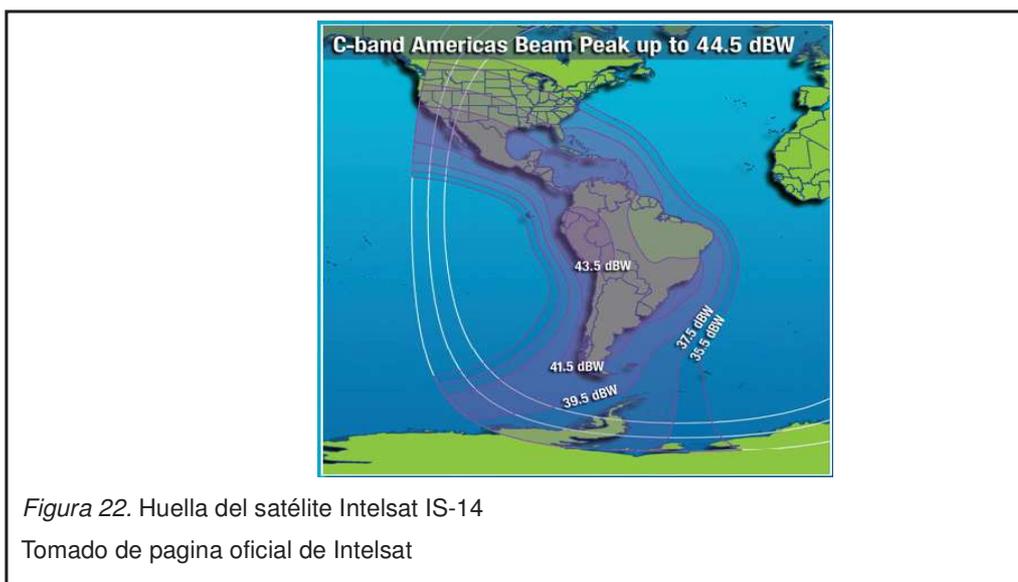
- **Definir el diámetro de la antena**

Dependiendo de la banda si es C o Ku, se elige el diámetro de la antena, se tiene comúnmente antenas parabólicas de 1.2, 1.8, 2.4 y 3.8 metros de diámetro.

- **Determinar cobertura**

Con las coordenadas tomadas en el reconocimiento verifican si existe no

huella del satélite (cobertura), para este trabajo se tomará los datos del satélite IS-14 de Intelsat, aún cuando trabajan con diferentes satélites este es el que tiene una mejor huella de cobertura, para América -97.0 a -66.0 [dBW/m²], como indica la siguiente figura.



- **Diseño de la red**

Para el diseño de la red el encargado de ingeniería de la empresa proveedora del servicio trabaja con diferentes hojas de Excel que son propiedad de la empresa y que son administradas por el especialista regional de satelitales. Dichas hojas de excel ayudan a obtener los cálculos necesarios para confirmar si el enlace es viable. *“Cabe recalcar que en la mayoría de los casos esta parte no siempre se la realiza ya que la cantidad de clientes ha incrementado y si se presenta una nueva instalación toman como referencia las experiencias e ingenierías anteriores”*. (Información emitida por el especialista regional de satelitales)

- **Enviar datos para Instalación**

Una vez que el especialista en satelitales de la empresa proveedora del servicio, tiene los datos de diseño del enlace, entrega la información al

personal técnico a cargo de la instalación física de los equipos y antena, los datos entregados le sirven para proceder con el apuntamiento de la antena (la información que se le es entregada es la “ingeniería” diseño de la red del cliente y los datos como ubicación, coordenadas, tecnología a ser utilizada).

- **Instalación y pruebas**

Luego de instalado el enlace el personal técnico realiza pruebas de funcionamiento en conjunto con el personal de Ingeniería de la empresa proveedora del servicio, las pruebas que se realiza son:

- **Cross Pol**, para verificar que la portadora de la estación terrena no transfiera con el transponder adyacente.
- **El dB de compresión**, lo realizan para determinar la potencia máxima que el *buc (transceiver)* lleguen al punto de saturación
- **Pruebas de latencia**, determina que los niveles de transmisión y recepción cumplan con los tiempos de respuesta a nivel de ping, ejemplo: VSAT (*Idirect*) promedio 600 ms, *Hughes* promedio 700ms
- **Pruebas de esfuerzo**, en donde se verifica que el ancho de banda sea el contratado

Esta área dependerá básicamente de la información que entregue el área de Ingeniería.

- **Puesta en marcha del servicio**

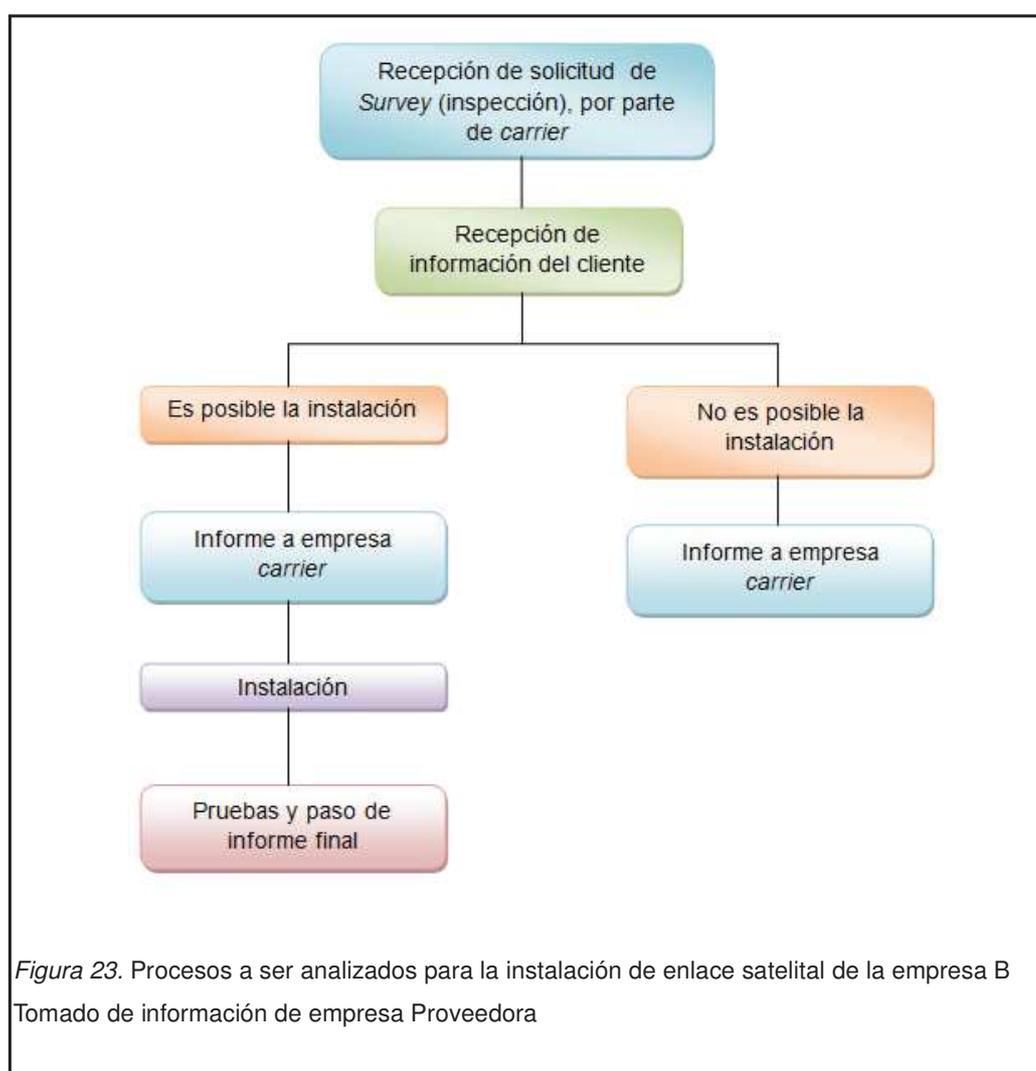
A cargo del área de activación de la empresa proveedora del servicio, una vez instalada la antena, los equipos es decir el enlace satelital listo pasa al área de activación encargados de:

- Determinar que protocolos de enrutamiento que necesita el cliente acorde a su red interna.
- Calidad de servicio (voz y vídeo).
- Realizan pruebas del enlace para comprobar que la capacidad a la que llega sea la requerida por el cliente.

Como se puede observar todo el proceso tiene pasos que de no concluirse, puede ocasionar demora en la entrega del producto final.

2.2 Proceso de instalación - empresa B

La segunda empresa de la cual se hace referencia en este capítulo es un EAIM (Empresas de asistencias de Instalación y Mantenimiento), entre uno de los servicios que ofrece es la instalación y asistencia de enlaces satelitales, a continuación de detalla uno de sus procesos para realizar la instalación de enlaces satelitales.



- **Recepción de solicitud de Survey (inspección), por parte de carrier**
La empresa proveedora del servicio de internet, solicita al EAIM un *survey* (inspección) en su cliente, para confirmar que existan las condiciones necesarias (espacio físico para instalar la antena, superficie plana, condiciones eléctricas, etc) para instalar la antena y equipos.
- **Recepción de información del cliente**
El EAIM recibe la ubicación geográfica del cliente para verificar si el área en donde se ubicarán los equipos internos y externos es apropiada para instalar antena y equipos.

- **No es posible la instalación**

De no ser posible instalar una enlace satelital el EAIM debe enviar un informe mencionando el por qué no se puede realizar la instalación del enlace.

- **Es posible la instalación**

Una vez en el sitio los técnicos instalan la electrónica y cables que interconectan equipos IF y RF, luego instalan la antena físicamente para proceder con el apuntamiento con el satélite.

El tiempo que demora un técnico en apuntar la antena con el satélite, dependerá de la experiencia que tenga, a veces puede demorar más de 24 horas ya que en ocasiones hasta obtener el ángulo de azimut y elevación necesario para lograr niveles óptimos de recepción.

- **Pruebas y paso de informe final**

Una vez realizada la instalación realizan pruebas del enlace y deben generar un reporte de cómo se instalaron los equipos, este reporte puede servir para posteriores revisiones del enlace y tener una referencia en caso de fallas.

2.3 Antecedentes y requerimientos

Esta parte del capítulo detalla la situación actual del proceso de ingeniería de las empresas parte del estudio, ya que de acuerdo a lo observado es en donde determinan los parámetros de la antena así como la tecnología a instalar.

2.3.1 Estado actual del proceso de Ingeniería

La persona o personas a cargo del diseño del ingeniería realizan los cálculos de los enlaces satelitales en hojas de excel o en su mayoría solo se basan en las experiencias anteriores, es decir, en enlaces de clientes ya instalados.

Toman los mismos equipos, la misma topología de red y mismos parámetros de instalación.

También hay que tomar en cuenta que los datos no son enviados al técnico de campo en su totalidad en caso de tenerlos, sólo remiten los datos generales de ubicación, tecnología a ser utilizada, más no los parámetros que deberían conseguir en el enlace, como por ejemplo el Eb/No el cual ayuda a determinar si un enlace está obteniendo la potencia de señal para que su desempeño sea óptimo, o los ángulos de elevación y azimut los que ayudan para el apuntamiento de la antena parabólica.

Además, debido al incremento de los clientes que se unen a su red satelital, se ha presentado un problema al momento de guardar los datos de instalación, que son necesarios posteriormente en caso de futuras fallas del enlace.

También, mencionan que actualmente no tienen la fiabilidad de que los enlaces sean instalados con los parámetros calculados, porque son transmitidos vía telefónica a los técnicos de campo, los que al no poder acceder a los archivos de excel de la empresa deben basarse únicamente en sus anteriores experiencias laborales y posteriormente validan los parámetros obtenidos en un informe.

2.3.2 Solución para subproceso de Ingeniería

Como se puede observar en el punto 2.3.1 la parte de ingeniería está realizando el diseño del enlace satelital para nuevos clientes en forma empírica, en ciertas ocasiones los parámetros tanto físicos como lógicos son tomados de enlaces ya instalados; en otras ocasiones los cálculos de los parámetros son realizados en hojas de excel.

La aplicación que es objeto del presente proyecto eliminará el proceso de los cálculos en excel, obteniendo con menos complejidad los parámetros físicos y

lógicos del enlace satelital al ingresar información básica (ángulo de posición del satélite, coordenadas de la estación terrena, velocidad de transmisión, frecuencias, diámetro de la antena), en un solo paso.

Una vez que la persona a cargo del diseño obtenga los parámetros con los cuales el enlace podrá funcionar correctamente y con los cuales podrán instalar la antena (ángulo de azimut y elevación), podrá compartírselos con personal técnico que realiza la instalación física del enlace. O a su vez el técnico tendrá la opción de ingresar vía internet a la aplicación para el ingreso de los datos y así obtener los parámetros del enlace; esta aplicación puede ser de dominio público gracias a que puede ser ingresado al mundo del internet con la contratación de un *web hosting*.

Cabe recalcar que el técnico sólo podrá ingresar si el administrador de la herramienta lo permite a través de un usuario y un *password*, y solo se le permitirá como una herramienta de consulta.

La aplicación va de la mano con una base de datos que puede ayudar a la empresa a guardar la información de los enlaces de cada cliente, información que posteriormente será necesaria para cuando el enlace presente fallas de funcionamiento. La base de datos y la aplicación en sí tendrá un administrador el cual podrá realizar cambios en los datos utilizados para los cálculos.

La herramienta tiene una opción de poder imprimir un reporte de los parámetros obtenidos lo cual podrá servir para el informe final que el técnico envíe a la empresa proveedora del servicio.

Una opción que tendrá la herramienta es el guardar la información en una base de datos que puede ayudar a las posteriores asistencias en caso de fallas en el enlace.

Con la aplicación la idea es conseguir una mejoría en el proceso eliminando los cálculos en hojas de Excel, seguridad de la información, accesibilidad a los datos en caso de requerirlo en algún momento, disminución del tiempo de

instalación y confiabilidad en los datos obtenidos.

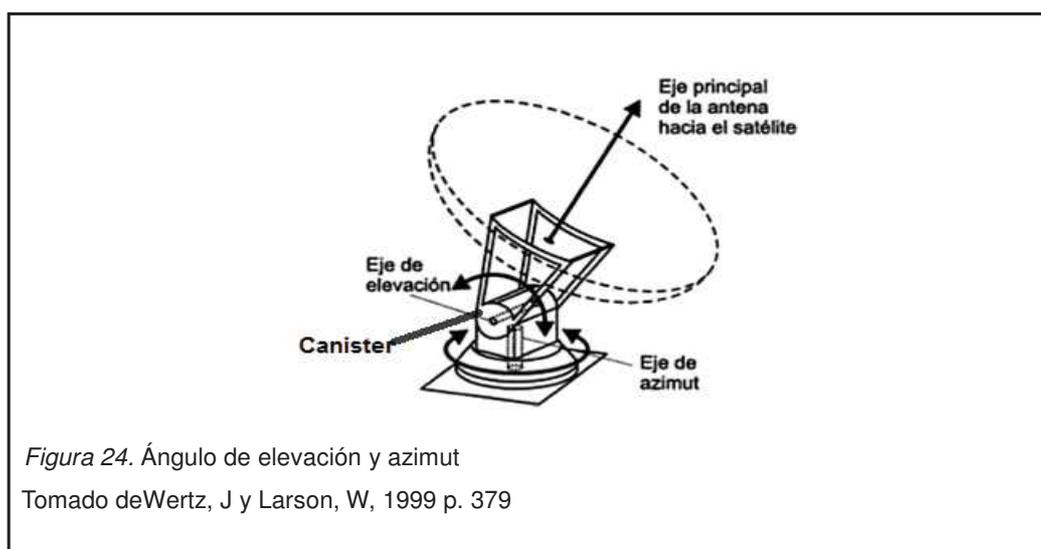
2.4 Variables para el cálculo de parámetros

Para determinar la factibilidad de un enlace satelital es necesario diferentes parámetros por lo que a continuación se realizará una revisión de los conceptos de algunas variables necesarias en el cálculo.

Un enlace debe diseñarse de manera que proporcione comunicaciones fiables y de buena calidad, lo que implica que la señal transmitida debe llegar a la estación terrena receptora con un nivel de portadora suficientemente superior a las señales no deseadas que generan las diversas e inevitables fuentes de ruido e interferencia, por lo que antes de proseguir con los cálculos del balance de enlace y otras variables, es preciso revisar ciertas nociones básicas que ayudarán en los cálculos.

2.4.1 Angulo de elevación de la antena (α)

La orientación de la estación terrena será realizada a través de dos ángulos el de elevación y de azimut, estos dependerán de la ubicación geográfica de la antena y ubicación en longitud del satélite.



El ángulo de elevación puede ser manipulado por medio del *canister* que es parte de la antena como se indica en la figura 24.

Se toma como referencia el eje de simetría del plato parabólico, para hacer coincidir con el máximo cantidad de radiación.

Podemos decir que el ángulo de elevación es el que se forma entre el eje simétrico y la superficie del suelo, este ángulo hace posible el movimiento de abajo hacia arriba o viceversa del plato parabólico.

2.4.2 Azimut de la antena (β)

El valor del Azimut indicará el punto exacto en el que debemos fijar la antena en el plano horizontal. El ángulo de azimut es la medida en grados con la que se debe girar la antena en sentido de las manecillas del reloj (con relación al norte geográfico de la Tierra); (Neri, 2003, p.384).

El ángulo de elevación nos indicará la inclinación que le debemos dar a la antena con respecto al plano vertical para orientarla hacia el satélite.

Tanto el cálculo del ángulo de elevación y azimut son algunos de los parámetros importantes que se debe tomar en cuenta para la correcta orientación de la antena permitiendo obtener la mejor irradiación posible del plato parabólico obteniendo un mejor enlace con el satélite.

2.4.3 Potencia de recepción

Es la cantidad de energía que se obtiene desde el satélite, esta será recibida y amplificada por el *transceiver*.

2.4.4 Figura de Mérito (G/T)

La figura de Mérito es el parámetro más determinante para medir la calidad de la estación terrena, este resulta de la relación entre la ganancia de potencia de la antena y la temperatura de ruido del sistema (G/T)

Existen 2 métodos para calcular la figura de mérito dependiendo de las situaciones pueden utilizarse el mejor método según las circunstancias.

Uno de los métodos utilizados para calcular la relación G/T es la medición de la potencia de ruido que proviene de una fuente radioeléctrica estelar detallada en la siguiente ecuación (UIT, 2002, p.542):

(Ecuación 1)

$$\frac{G}{T} = \frac{8\pi k(r - 1)}{\phi(f)\lambda^2}$$

Donde:

k= Constante de *Boltzmann* (-228,6 [dBW/K-Hz])

λ = Longitud de onda

$\phi(f)$ = Densidad espectral de flujo de radiación de la fuente radioeléctrica estelar

en función de la frecuencia f.

G= Ganancia de la antena referida a la entrada del receptor.

T= Temperatura de ruido del sistema a la entrada del receptor.

(Gomezjurado, 2013, p.57)

(Ecuación 2)

$$r = \frac{P_n + P_{st}}{P_n}$$

P_n : Potencia de ruido que corresponde a la temperatura de ruido de sistema T.

P_{st} : Potencia de ruido suplementaria cuando la antena está en alineación exacta con la fuente radioeléctrica estelar.

Otra fórmula utilizada para calcular la figura de mérito con respecto a un enlace satelital es la expresada a continuación (Gomezjurado, 2013 p.57):

(Ecuación 3)

$$\frac{G}{T}(dB) = G_{dB} - 10 \log T$$

Donde:

T= Temperatura de ruido del sistema

2.4.5 Temperatura de ruido del sistema (T)

Por lo general la temperatura de ruido se define como el movimiento aleatorio de electrones en un conductor a una temperatura superior al cero absoluto.

Este parámetro es dado por lo general por el fabricante, si no se dispone de este dato podremos asumir una temperatura de ruido total de 80°K si se tiene antenas de hasta 8 metros de diámetro y 70°K para antenas con diámetros mayores(Gomezjurado, 2013 p.59).

2.4.6 Factor y figura de ruido de la antena

Se definen como las medidas de la degradación de la relación señal a ruido, causado por los componentes en una cadena de señales de frecuencia. Se trata de un número por el que se puede especificar el rendimiento de un receptor este valor puede ser 1, <1 o >1. Lo ideal es que esta relación tenga un valor de 1.

En el caso de las antenas parabólicas, para la recepción de emisiones de radio y televisión vía satélite, en las que las potencias que llegan son muy pequeñas, es muy importante alcanzar unos factores de ruido mínimos (Ruiz, 1996, p.20).

2.4.7 Relación Portadora/Ruido térmico

Un canal completo por satélite consiste de dos partes; un enlace ascendente y un enlace descendente por lo que habrá relación portadora/ruido ascendente y descendente, y es definido como el ruido que se presenta dentro del ancho de banda útil.

2.4.8 Codificación FEC (*Forward Error Correction*)

Al enviar los datos por medios digitales o analógicos existe el ingreso de errores, los que son causados por la presencia de ruido en el canal, los errores serán tomados en cuenta con más o menos importancia dependiendo de qué tipo de información se lleve y qué cantidad de errores se presenten. Por lo general si se utiliza una menor tasa de transferencia de datos estos pueden disminuir pero no es aconsejable, para lo cual se aconseja aceptar la tasa de errores pero adoptar técnicas de corrección para eliminarlos.

La FEC corrige los errores en la recepción sin necesidad de realimentar información alguna al extremo del transmisor. No se introduce ningún retardo adicional salvo el tiempo de tratamiento.

Existen varias técnicas para la detección y corrección de errores. En todas es necesario agregar redundancia, es decir, bits que no contribuyen al envío de información. A esta técnica se la conoce como Corrección de Errores Sin Canal de Retorno (*Forward Error Correction* FEC) (Blake, 2002, p.354).

Los enlaces satelitales se utilizan codificadores de tipo FEC que son el resultado de la salida de 2 bits codificados en transmisión por cada bit original (FEC $1/2$), 8 bit codificados por cada 7 bits originales (FEC $7/8$) y 4 bits codificados por cada 3 bits originales (FEC $3/4$).

La FEC es un parámetro que se utiliza para el cálculo del ancho de banda ocupado por la señal, pero también es calculado a partir de la modulación que se emplee.

Tabla 3. Ejemplo de utilización de FEC en enlaces satelitales digitales

Sistema de Satélite	Modo de acceso	Velocidad binaria de información	Tipo	R	Longitud	Distancia	Algoritmo de decodificación	Ganancia o mejora en BER
Intelsat	FDMA/S CPC	48 Kbits/s	auto-ortogonal convolucional	3/4 7/8	80 384	5 5	umbral	10 ⁻⁴ a 5.10 ⁻⁸
		56 Kbits/s	Hamming acortado	14/15	120	4		
Intelsat	TDMA	105 Mbits/s canal de asignación	BCH (128, 112) Golay ampliado (24, 12)	7/8 1/2	128 24	6 8	examen de tabla	2.5 dB para 10 ⁻⁵
		n x 64 Kbits/s	Hamming	4/5	40	4	examen de tabla	10 ⁻⁶ a 10 ⁻¹⁰
Telecom 1	FDMA	8 Mbits/s 34 Mbps/s	convolucional	2/3	5	5	Viterbi	4.5 dB para 10 ⁻⁵
		datos a 48 bits/s	convolucional (ldaware)	3/4	3	3	umbral	10 ⁻⁴ a 10 ⁻¹¹ ráfagas de errores
Eutelsat SMS Intelsat IBS	FDMA	n x 64 Kbits/s	convolucional	1/2	7	10	Viterbi	
Intelsat IDR	FDMA/S CPC	n x 64 Kbits/s 1.5/2-8 Mbits/s hasta 45 Mbits/s	convolucional y perforado	1/2 3/4 7/8	7	10 5 3	Viterbi	
		n x 64 Kbits/s 1.5/2-8 Mbits/s	RS (219, 201)+ convolucional y perforado	1/2 3/4 7/8	7	19 (RS)	Viterbi algebraico	
		hasta 45 Mbit/s	RS (219, 201)+ 2/3 PTCM MDP-8		7	19 (RS)	Viterbi algebraico	
SBS	TDMA	48 Mbps/s	Reed-Solomon acortado (204, 192)	16/17	204	13	algebraico	10 ⁻⁴ a 10 ⁻¹¹
TVSAT	TDMA	900 Kbit/s	BCH (63, 44)	44/63	63	8	algebraico	
InmarsatStd B	SCPC	300/600 Bit/s	convolucional	1/2	7	10	Viterbi	mas entrelazado
InmarsatStd C	SCPC	9.6/16 Kbit/s	perforado	3/4	7	5	Viterbi	Calidad de audio para

Nota: Tomado de (UIT, 2002, p.153)

2.4.9 Ancho de banda de la portadora(BW)

Ancho de banda es una unidad de medida que representa la tasa en que los datos o bits de información pueden pasar a través de un sistema.

Durante el trayecto de la señal para llegar al receptor se presentan pérdidas a consecuencia de los siguientes factores:

- Pérdidas por propagación en el espacio libre
- Pérdidas consecuencia de la absorción atmosférica
- Pérdidas por atenuación debida a las lluvias

2.4.10 Pérdidas en el espacio libre (L_p)

La pérdida en el espacio libre es una cantidad técnica artificial que se originó debido a la manipulación de las ecuaciones de presupuesto de un enlace de comunicaciones, que debe tener determinado formato en el que se incluya la ganancia de la antena transmisora, la pérdida en trayectoria por el espacio libre y el área efectiva de la antena receptora. En realidad no se pierde energía alguna; tan solo se reparte al propagarse alejándose de la fuente, y se produce una menor densidad de potencia en determinado punto a determinada distancia de la fuente (Tomasi, 2003, p.366).

Para el cálculo de la pérdida en el espacio libre se tiene la siguiente ecuación (Tomasi, 2003 pp.367):

(Ecuación 4)

$$L_p = 92.44 + 20 \log(d)[\text{Km}] + 20 \log(f)[\text{GHz}]$$

2.4.11 Pérdida consecuencia de la absorción atmosférica

Además de la atenuación en el espacio libre, hay que tener en cuenta las pérdidas atmosféricas al realizar los cálculos del balance de enlace.

Estas pérdidas atmosféricas, que son particularmente apreciables en las frecuencias más altas (por encima de los 10 GHz) se deben principalmente a las precipitaciones y dependen, por lo tanto de:

- Condiciones atmosféricas locales
- Los requisitos relativos a disponibilidad del enlace y la calidad de la transmisión (UIT, 2002, pp.83).

Las pérdidas atmosféricas se producen cuando los gases encontrados

en la atmósfera interactúan con las señales electromagnéticas. Esto ocasiona una reducción de la potencia de las señales conforme atraviesan la atmósfera y aumentan a nivel de las frecuencias de resonancia de vapor de agua (H₂O), Oxígeno (O₂) y Bióxido de Carbono (CO₂); tomado de la página web de (enabierto, s.f.) como se menciona en la bibliografía.

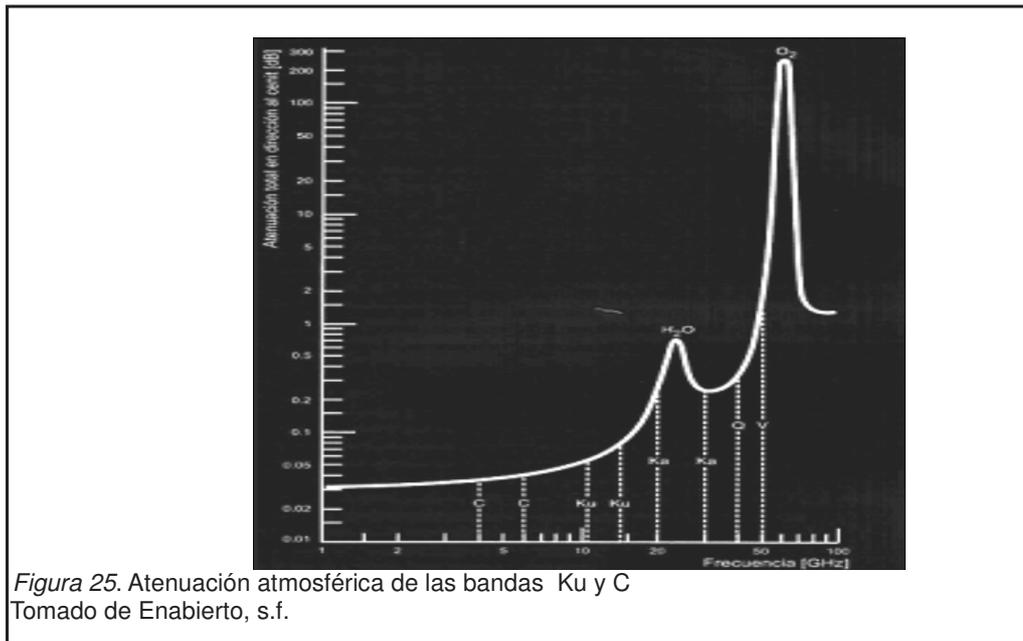


Figura 25. Atenuación atmosférica de las bandas Ku y C
Tomado de Enabierto, s.f.

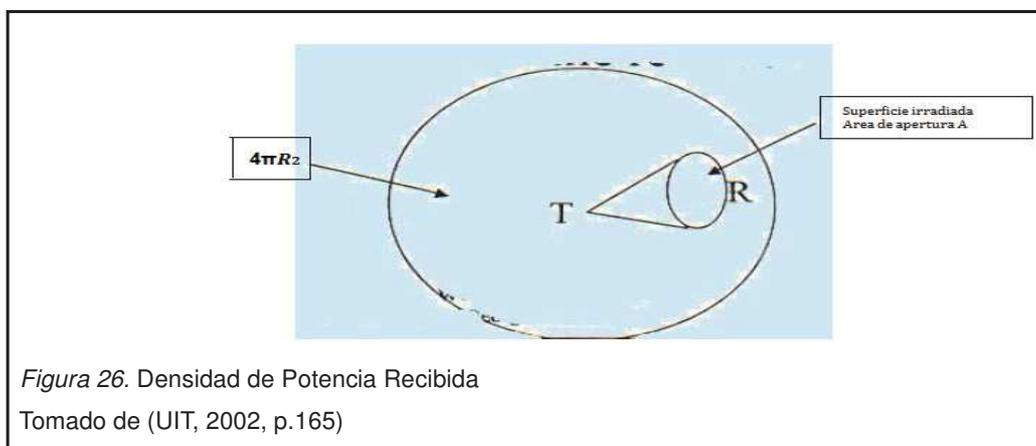
2.4.12 DFP (Densidad de Potencia Recibida)

La densidad de potencia recibida es la potencia radiada por una antena a una distancia suficientemente grande, d , en una dirección dada.

Para una antena isotrópica en condiciones de espacio libre, la potencia p_e en la entrada de la antena se radia uniformemente en todas las direcciones a través de una esfera cuyo centro es la antena, como se puede observar mejor en la grafica20, y esta dad por la siguiente ecuación (UIT, 2002, pp.50,51).

(Ecuación 5)

$$(Dfp)_i = \frac{p_e}{(4\pi d^2)}$$



2.4.13 Densidad de flujo por portadora en el satélite

Este parámetro refiere a la densidad de flujo de potencia que llega al satélite de manera efectiva desde la estación terrena.

Se calcula tomando en cuenta los siguientes puntos:

- PIRE de la estación terrena
- Pérdida de propagación en el enlace de subida
- Margen para compensar errores producidos por la lluvia (se tomara 3dB para banda C). (Gomezjurado, 2013 p.176)
- Ganancia de la antena de 1m²

La ganancia de antena de 1m² se refiere a la ganancia de una antena normalizada real y se define con la siguiente fórmula:

(Ecuación 6)

$$G \left[\frac{dB_i}{m^2} \right] = 20 \log(f) + 21.46$$

2.4.14 PIRE Potencia Radiada Isotrópica Equivalente

El pire está definido como la potencia de entrada que necesita un radiador isotrópico para poder lograr la misma densidad de potencia en una distancia considerada, en la dirección de máxima radiación de una antena real.

En la siguiente ecuación se define la potencia radiada equivalente:

(Ecuación 7)

$$PIRE = 10 \log(P_{tx}) [dB] + G_{tx}[dB]$$

Donde:

PTx= Potencia del HPA

GTx= Ganancia de antena transmisora

2.4.15 Meu

Margen para compensar errores por lluvia, en el peor de los casos se tomará el valor de 3dB, mismo que será tomado en cuenta para los cálculos.

2.4.16 Backoff de entrada y salida BOi y BOo

Se determina la reducción de la potencia de entrada cuando permanecen funcionando varias portadoras, referidas al nivel de saturación de una sola portadora, esta reducción de la potencia se la conoce como *Backoff*. La reducción de potencia a la entrada se la define con la siguiente expresión BOi.

(Ecuación 8)

$$PIRE_U[dBW] = PIRE_{sat}[dBW] - BOi[dBW]$$

Donde:

PIREsat= PIRE mínima de la estación terrena, requerida para saturar

altranspondedor del satélite, se obtiene a partir de la siguiente ecuación

(Ecuación 9)

$$PIRE_{sat}[dBW] = DFP_{sat} \left[\frac{dBW}{m^2} \right] - 20 \log(fu)[dB] + L[dB] - 26.46$$

Donde:

DFPsat= densidad de flujo de potencia de saturación.

Fu= Frecuencia del enlace ascendente GHz.

L= Pérdidas totales en el enlace ascendente

Si el valor del PIRE de la estación terrena disminuye se reducirá el valor de la potencia en la antena receptora.

Para la reducción de la potencia de salida hay que tomar en consideración que cuando se emplea este en el PIRE del satélite debemos dejar un margen para reducir la potencia de salida equivalente.

La reducción de potencia en la entrada no se relaciona directamente con la reducción de potencia de salida.

La ecuación que determina el BOo:

(Ecuación 10)

$$BOo[dBW] = BOi[dBW] - X[dBW]$$

Donde X: dependerá exclusivamente de las características del satélite utilizado;(5 dB, el cual es un valor típico para satélites INTELSAT).

La característica del satélite con el que se trabaje determinará la diferencia entre BOi y BOo.

2.4.17 Relación portadora/ruido térmico C/T

El funcionamiento de un enlace satelital puede también se expresado en términos de la relación portadora / ruido térmico, que se define como la relación de la potencia de portadora recibida y la temperatura de ruido efectiva a la salida de un sistema receptor en la estación terminal (Gordillo, 1995, p.39).

La relación es la combinación de los siguientes parámetros.

- Intermodulación debida al sistema de transmisión
- G/T del sistema receptor del satélite
- Intermodulación del satélite
- G/T de la estación terrena receptora

La relación C/T se da por la siguiente fórmula:

(Ecuación 11)

$$\frac{C}{T} \left[\frac{dBW}{K} \right] = PIRE[dBW] - L_{total}[dB] + \frac{G}{T} \left[\frac{dB}{K} \right] - Meu$$

En caso de existir más de un enlace como pasa en las comunicaciones satelitales, el C/T total será la suma aritmética de las relaciones C/T de cada estación.

2.4.18 Relación portadora/ densidad de ruido (C/N)

El canal completo por satélite está conformado por un enlace ascendente y enlace descendente.

La relación portadora/densidad de ruido en el enlace ascendente se expresa con la ecuación:

(Ecuación 12)

$$\frac{C}{N} = PIREu[dBW] + Lpu[dB] + Lu[dB] + \left(\frac{G}{T} \right)_s \left[\frac{dB}{K} \right] - k[dBW / K/Hz]$$

Igualmente para el enlace descendente se tiene la ecuación:

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_d = PIRE_d[dBW] + L_{pd}[dB] + L_d[dB] + \left(\frac{G}{T}\right)_{e.t} \left[\frac{dB}{K}\right] - k[dBW / K/Hz] \quad (\text{Ecuación 13})$$

Donde:

PIRE_u= PIRE para el enlace ascendente (*uplink*)

PIRE_d= PIRE para el enlace descendente (*downlink*)

L_u= Pérdidas de propagación más atenuación atmosférica y lluvias en el enlace ascendente.

L_d= Pérdidas de propagación más atenuación atmosférica y lluvias en el enlace descendente.

G/T_s= Figura de mérito del satélite.

G/T e.t.= Figura de mérito de la estación terrena receptora

k= Constante de *Boltzmany* es igual a -228,6

La siguiente ecuación expresa la relación total:

$$\frac{C}{N_o}[dB - Hz] = \left(\frac{C}{N_o}\right)_u[dB - Hz] + \left(\frac{C}{N_o}\right)_d[dB - Hz] + \frac{c}{IMo}[dB - Hz] \quad (\text{Ecuación 14})$$

Donde:

C/IMo= Relación portadora/ densidad de ruido de intermodulación contribuida por el *transpondedor* del satélite.

La contribución de ruido de intermodulación depende de las características de entrada y de salida del satélite. Cuando el amplificador es excitado hasta su punto de saturación, el valor de IMo será alto. Para reducir lo más posible éste tipo de ruido, el satélite funciona con menor potencia a la de saturación (Gordillo, 1995, p.37).

Podemos definir a la relación entre la potencia de salida PIREd y la potencia de salida PIREu como la ganancia del *transpondedor* y se la expresa de la siguiente manera:

(Ecuación 15)

$$G_s = PIREd[dBw] + PIREu[dBw] - Lu[dB]$$

Cuando se necesita calcular valores en valores y no en decibelios se puede utilizar las siguientes ecuaciones, mismas que serán utilizadas en el análisis de los cálculos posteriormente.

(Ecuación 16)

$$\frac{1}{C/N_o} = \frac{1}{\left(\frac{C}{N_o}\right)_u} + \frac{1}{\left(\frac{C}{N_o}\right)_d}$$

(Ecuación 17)

$$\frac{C}{N_o} = \frac{1}{\left(\frac{C}{N_o}\right)_u + \left(\frac{C}{N_o}\right)_d}$$

La contribución de ruido de intermodulación depende de las características de la relación portadora/potencia de ruido y se calcula para determinar el umbral del receptor y ver el funcionamiento de los demoduladores, este cálculo se presenta en el ancho de banda ocupado por la señal.

La potencia de ruido a la entrada del receptor se debe tanto a una fuente interna típica como a una fuente externa contribución de la antena. (UIT, 2002,p.20)

2.4.19 Relación energía de bit/densidad de ruido espectral(Eb/No)

La relación energía de bit densidad de ruido espectral ayuda a determinar el rendimiento y la probabilidad de error para la estación satelital.

Para poder definir la relación de bit/densidad de ruido espectral primero se debe definir a los componentes que lo conforman:

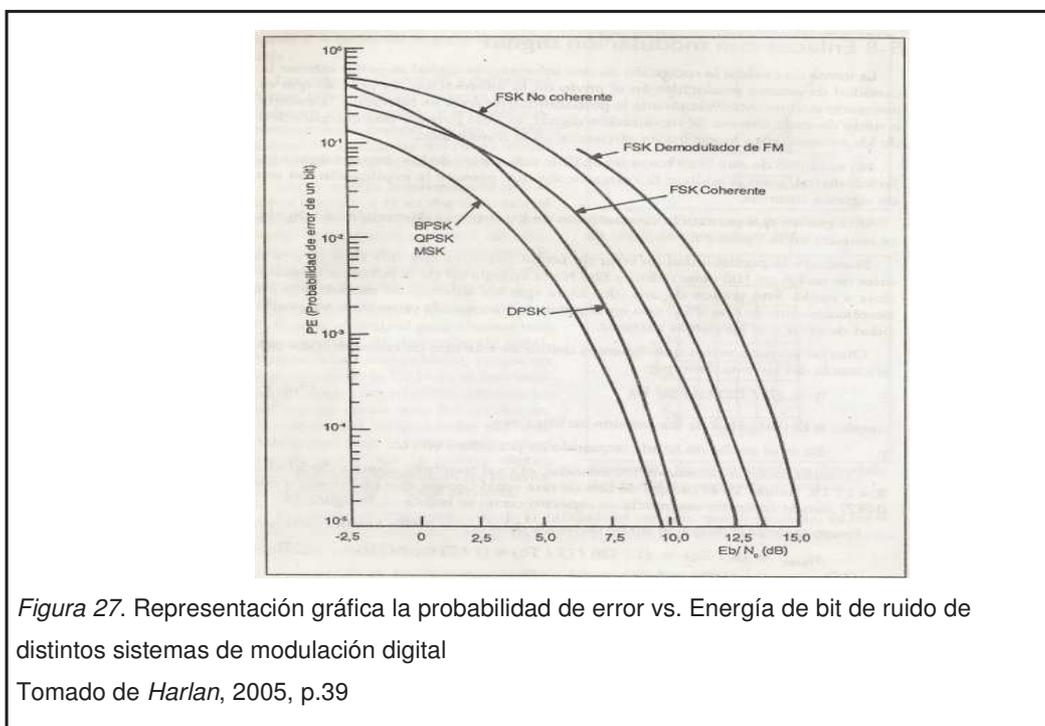
E_b : bit de energía

N_0 : Ruido de la densidad espectral

El E_b/N_0 sirve para indicar que tan fuerte es la señal y debe ser medido en el receptor, este dependerá de la modulación con la que se esté trabajando y presentarán diferentes curvas de errores de bit por E_b/N_0 .

Las curvas nos ayudarán a determinar la tasa de error y si esta es aceptable para un sistema específico.

En la gráfica 27 se pueden observar las curvas obtenidas de la relación E_b/N_0 versus BER tomando en consideración las diferentes técnicas de modulación.



2.5 Cálculo del enlace

Debe tomarse en cuenta que, el factor fundamental para el diseño de un enlace por satélite es el cálculo del balance del enlace, es decir, el cálculo de las (C/N) , (C/No) o (Eb/No) en función de las características del satélite, de las estaciones terrenas y de las condiciones locales del entorno y la interferencia, las cuales serán tomadas en cuenta para los siguientes cálculos que nos ayudarán a determinar los parámetros de un enlace satelital.

En la práctica uno de los parámetros que es tomado como referencia para confirmar si un enlace es factible es el valor del Eb/No el cual no debe ser menor a 9 [dB] (referencia tomada de información de empresa *carrier*), con este valor se juzga la calidad de la señal, mientras mayor sea mejor es la calidad del sistema.

La calidad de funcionamiento global de un enlace unidireccional entre 2 estaciones terrenas A y B depende de las características de tres elementos: el enlace ascendente, de la estación remota A al satélite, el *transpondedor* del satélite y el enlace descendente del satélite a la estación terrena B. En esta parte del capítulo se detalla el cálculo del balance del enlace global.

2.5.1 Cálculo ángulo de elevación

El cálculo del ángulo de elevación depende de los siguientes factores:

- Posición del satélite
- Longitud de la estación terrena
- Latitud de la estación terrena
- Distancia desde el centro de la Tierra hacia el satélite
- Radio medio de la tierra

La ecuación para determinar el ángulo de elevación de la antena de la estación terrena es la siguiente:

(Ecuación 18)

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{r - Re \times \cos \theta_2 \times \cos |\theta_s - \theta_1|}{Re * \sin[\cos^{-1}(\cos \theta_2 \times \cos(\theta_s - \theta_1))]} \right] - \cos^{-1}(\cos \theta_2 \times \cos[\theta_s - \theta_1])$$

Donde: θ_s = Posición del satélite θ_1 = Longitud de la estación terrena θ_2 = Latitud de la estación terrena

Re= Radio medio de la tierra (6.378 Km)

r = Distancia del centro de la tierra al satélite (42.164 Km)

2.5.2 Cálculo de Azimut

El cálculo de azimut para la estación terrena depende de los siguientes parámetros:

- Posición del satélite
- Longitud de la estación terrena
- Latitud de la estación terrena

La fórmula que se utiliza para el cálculo es la siguiente:

(Ecuación 19)

$$\beta = 180^\circ + \tan^{-1} \left[\frac{\tan |(\theta_s - \theta_1)|}{[(\cos \theta_2)]} \right]$$

Donde: θ_s = Posición del satélite θ_1 = Longitud de la estación terrena θ_2 = Latitud de la estación terrena**2.5.3 Cálculo de la distancia entre las estaciones terrenas y satélite**

El cálculo de la distancia entre la estación terrena hasta el satélite depende de:

- Angulo de elevación de la estación terrena
- Distancia de la órbita geoestacionaria desde la Tierra (35.789 Km)
- Radio medio de la tierra

Con el cálculo de la distancia desde el satélite hasta la estación terrena se puede calcular el tiempo de retardo para la transmisión, con la siguiente ecuación.

(Ecuación 20)

$$d = \sqrt{(Re + H)^2 + Re^2 + 2Re(Re + H) * \sin \left[\alpha + \sin^{-1} \left(\frac{Re}{Re + H} \right) * \cos(\alpha) \right]}$$

Donde:

Re= Radio medio de la tierra (6.378 Km)

H = Distancia de la órbita geoestacionaria desde la Tierra (35789 Km)

α = Ángulo de elevación de la estación terrena

2.5.4 Cálculos tiempos de retardo

El cálculo del tiempo de retardo entre la estación terrena y el satélite se puede calcular a partir del cálculo de la distancia cuya fórmula se expresa a continuación.

(Ecuación 21)

$$t = \frac{d}{C}$$

Donde:

t=retardo

d=distancia de la estación terrena al satélite

C= velocidad de la luz

Cabe recalcar que existe un retardo total el cual va a ser el doble del retardo calculado, ya que la señal debe subir al satélite y posteriormente bajar al *hub*.

2.5.5 Cálculo del Ancho de Banda (BW)

El BW dependerá de la modulación con la que se trabaje así que se tendrá las siguientes ecuaciones dependiendo de la modulación.

También dependerá del factor FEC y de la velocidad de transmisión de los datos, para este caso del *throughput* o tasa de transferencia de los bits.

Para QPSK

(Ecuación 22)

$$BW = \left[\frac{\left(\frac{Vtx}{FEC} \right)}{2} \right] * 1,4$$

Para BPSK

(Ecuación 23)

$$BW = \left[\frac{(Vtx)}{FEC} \right] * 1,4$$

Para 8-PSK

(Ecuación 24)

$$BW = \left[\frac{\left(\frac{Vtx}{FEC} \right)}{3} \right] * 1,4$$

Para 16QAM

(Ecuación 25)

$$BW = \left[\frac{\left(\frac{Vtx}{FEC} \right)}{4} \right] * 1,4$$

Donde:

Vtx = Velocidad de transmisión del enlace expresado en Kbps

FEC = Factor de corrección de errores

1,4= *Roll off*, este valor es utilizado para configurar la máscara de potencia espectral a la salida del demodulador.

Como se mencionó el FEC puede ser de 1/2, 7/8, 2/3, 3/5 ó 3/4

2.5.6 Cálculo de las pérdidas en el espacio libre ascendente

Como se mencionó anteriormente la ecuación 4 nos permite calcular las pérdidas en el espacio libre:

$$L_{pu} = 92,44 + 20 \log(d) [Km] + 20 \log f [Ghz]$$

Donde:

d = Distancia entre la estación terrena y el satélite

f = Frecuencia enlace ascendente

92,44= constante

A este valor se debe sumar las pérdidas por absorción atmosférica y lluvias obtenidas a partir de las tablas:

Tabla. 4 Atenuación por absorción atmosférica para las bandas C y KU

Banda de frecuencias	Frecuencia (GHz)	Pérdida por absorción atmosférica (dB)
Banda C enlace de subida	4	0.0371
Banda C enlace de bajada	6	0.0408
Banda Ku enlace de subida	12	0.636
Banda Ku enlace de subida	14	0.0791

Nota: Tomado de tomado de en abierto, s.f.

Tabla. 5 Atenuación por lluvias para las bandas C y KU

Banda	Frecuencia	Zona	Atenuación
C	4 GHz	N	0,2 dB/Km
Ku	12 GHz	N	10 dB/Km
C	6 GHz	P	1,9 dB/Km
Ku	14 GHz	P	16 dB/Km

Nota: Tomado de tomado de en abierto, s.f

2.5.7 Cálculo de flujo(DFP)

DFPs= densidad de flujo de potencia de saturación y este depende de los siguientes parámetros:

- PIRE de cada estación terrena
- Pérdidas de propagación en el enlace de subida
- Margen para compensar errores por lluvia 3 [dB] en caso extremo
- Ganancia de la antena de 1m2

Se calcula con la siguiente fórmula:

(Ecuación 26)

$$DFPs = PIRE[dBW] + Meu[dB] + G \left[\frac{dBi}{m^2} \right] - Lp - Lu$$

(Ecuación 27)

$$G[dBi] = 10 \log \left(\eta \left(\pi * D / \lambda \right)^2 \right)$$

Donde:

(Ecuación 28)

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

(Ecuación 29)

$$\lambda = \frac{(f_1 + f_2)}{2}$$

Donde:

f= Frecuencia de subida o bajada

C= velocidad de la luz (3x10⁸ m/s)

η= Eficiencia dada por el fabricante

D=diámetro de la antena en metros

- Meu=es el margen para compensar errores causados por la lluvia y se tomará el valor de 3dB tomado para las peores condiciones

- $G[\text{dBi}/\text{m}^2]$ = ganancia de la antena de 1 $[\text{m}^2]$

2.5.8 Cálculo del Backoff de entrada y salida

Como se explicó anteriormente el *backoff* hace referencia al margen que existe entre la densidad de flujo de potencia por cada portadora presente en el satélite y la densidad de saturación del *transpondedor*.

- **Cálculo del *Backoff* de entrada**

(Ecuación 30)

$$BOi[\text{dBW}] = DFPS \left[\frac{\text{dBW}}{\text{m}^2} \right] - DFPSat.et \left[\frac{\text{dBW}}{\text{m}^2} \right]$$

Donde:

DFPS= densidad de flujo de potencia de saturación

DFPSat.et= densidad de flujo de saturación de *transpondedor*

2.5.9 Cálculos para la relación C/T ascendente

El valor de la expresión se da mediante la ecuación 11 pero tomando en cuenta los datos para el enlace ascendente:

$$\frac{C}{T} u \left[\frac{\text{dBW}}{\text{K}} \right] = PIRE[\text{dBW}] - Lpu[\text{dB}] - Lu[\text{dB}] + \frac{G}{T} \left[\frac{\text{dB}}{\text{K}} \right] - Meu$$

Donde:

PIRE= Potencia isotrópica equivalente del transmisor en dBW

$\frac{G}{T} \left[\frac{\text{dB}}{\text{K}} \right]$ = Dato propio de cada satélite.

L= Pérdidas en el trayecto, por propagación y pérdidas adicionales.

2.5.10 Cálculos para la relación C/T descendente

El valor de la expresión se da mediante la ecuación 11 pero con los datos del enlace descendente.

Para realizar el cálculo de este valor, en primer lugar se debe obtener las pérdidas en el espacio libre para cada enlace de bajada a una frecuencia dada, tomando la ecuación 4.

Para determinar el PIRE en el enlace descendente, se tomará en cuenta la potencia entregada por el satélite y añadir el BOo (reducción a la potencia de la salida), con esto se obtiene el PIRE total para el enlace descendente:

(Ecuación 31)

$$PIREd = PIRE Sat + BOo$$

EL G/T figura de mérito de la antena transmisora se obtiene con la siguiente ecuación:

(Ecuación 32)

$$\frac{G}{T} \left[\frac{dB}{K} \right] = 35 + 20 \log \left(\frac{f}{4} \right)$$

2.5.11 Cálculo de la relación C/T total

La relación C/T total de la portadora se obtiene con la sumatoria de los valores de las recíprocas, la expresión es la siguiente.

(Ecuación 33)

$$\left(\frac{1}{\frac{c}{T}} \right)_{total} = \left(\frac{1}{\frac{c}{T} up} \right) + \left(\frac{1}{\frac{c}{T} d} \right)$$

2.5.12 Cálculo de la relación C/N

La relación portadora densidad de ruido se calcula con la siguiente expresión:

(Ecuación 34)

$$\frac{C}{N} [dB] = \left(\frac{C}{T}\right)_{tot} \left[\frac{dB}{K}\right] - 10 \log BW [dB] - K [dBW] / K/Hz$$

Se debe tomar en cuenta que el valor del BW que está en Hz, debe ser expresado en dBHz, para lo cual se utiliza la siguiente fórmula (*Rapidtables*, 2014).

(Ecuación 35)

$$BW [dBHz] = 10 \log(BW [Hz])$$

2.5.13 Cálculo de las relación C/No

Existe la relación portadora densidad de ruido en el enlace ascendente y en el enlace descendente los cuales se calculan con las ecuaciones 12 y 13.

2.5.14 Cálculo de la relación Eb/No

Para calcular el Eb/No se utiliza la siguiente ecuación y se realiza para el enlace ascendente y descendente:

Enlace ascendente:

(Ecuación 36)

$$\left(\frac{Eb}{No}\right)_u = \left(\frac{C}{No}\right)_u - 10 \log(Vtx)$$

Enlace descendente:

(Ecuación 37)

$$\left(\frac{Eb}{No}\right)_d = \left(\frac{C}{No}\right)_d - 10 \log(Vtx)$$

Donde:

Vtx= velocidad de transmisión expresada en bits por segundo y es simétrica

3. CAPITULO III. DESARROLLO DE LA APLICACIÓN

Así como las tecnologías pueden limitar la funcionalidad de la aplicación, decisiones de diseño equivocadas también pueden reducir la satisfacción del usuario. Por lo tanto, desde el punto de vista de la ingeniería, es importante tomar en cuenta los requerimientos del personal de las áreas que en el capítulo 2 fueron encuestados y los que trabajarían directamente diseñando la ingeniería de los enlaces de los clientes y los que directamente utilizarían la herramienta. Para que la realización del programa satisfaga las necesidades tanto del administrador como de los usuarios, se ha considerado que la aplicación debe brindar un ambiente de administrador y uno de usuario, como administrador tendrá el control de la aplicación y como usuario solo podrá ingresar o elegir datos para ver los resultados.

La herramienta estará en la posibilidad de realizar lo siguiente:

- Ambiente para administrador
- Ambiente para Usuarios
- *Front end*
- Registro de usuario validación email y clave
- Modificar los datos
- Crear los cálculos
- Guardar datos
- Envío por mail
- Historial de cálculos por usuario
- Visualización de cálculos
- Reportes generados en PDF
- Web HTML 5 (adaptativa) utilización de *bootstrap* (para la *web*)

Para obtener los resultados se deberá en primer lugar ingresar los siguientes variables:

- Angulo de Angulo de Posición del Satélite expresada en grados
- Modulación elegir entre QPSK,BPSK,8-PSK, 16QAM

- Longitud y la latitud de la ubicación de la estación terrena, expresada en grados.
- Velocidad de transmisión expresada en Kbps
- Potencia de transmisión, expresada en watts
- Factor de corrección de errores se podrán escoger entre $\frac{1}{2}$, $\frac{7}{8}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{5}$ ó $\frac{3}{4}$ dependiendo del equipo
- Frecuencia de bajada y subida expresada en GHz
- Diámetro de la antena se podrá elegir entre las de 1.2, 1.8, 2.4, 3.8 [mtrs] que son los valores más utilizados para enlaces satelitales.

Posterior al ingreso de los datos, el programa realizará los cálculos para obtener como resultado los siguientes parámetros:

- Angulo de elevación de la antena
- Azimut
- Distancia estación terrena al satélite
- Tiempo de retardo
- Tiempo de retardo total
- Ancho de Banda, BW
- Pérdida en el espacio libre
- Densidad de potencia recibida [DFP]
- Cálculo de *BackOff* de entrada y salida
- Relación portadora/ruido térmico ascendente y descendente [C/T]
- Relación portadora/ruido térmico total
- Relación portadora/densidad de ruido [C/N]
- Relación portadora/densidad de ruido [C/No], ascendente y descendente
- Relación energía del bit/densidad de ruido espectral [Eb/No]

3.1 Herramientas a utilizar

El desarrollo de la aplicación involucra decisiones importantes de diseño y de implementación, que influyen en todo el proceso; el alcance de la aplicación y el tipo de usuarios son consideraciones tan importantes como las herramientas elegidas para el desarrollo de la aplicación, razón por la que a continuación se hace un análisis entre dos posibles programas que puede ayudarnos en la realización del software y determinar cuál es más conveniente para el actual trabajo.

Tabla 6. Matriz comparativa de PHP y Java

FORTALEZAS	PESO	PHP		JAVA	
		CALIFICACION	PONDERACION	CALIFICACION	PONDERACION
Software libre	0,15	4	0,6	4	0,6
Requiere un conocimiento menos formal	0,15	4	0,6	1	0,15
Versatilidad al momento de escribir código	0,1	4	0,3	2	0,2
Sencillos en la sintaxis	0,1	3	0,4	1	0,1
Bajo costo	0,05	4	0,15	3	0,15
Fácil de entender	0,15	3	0,6	1	0,15
Facil de instalar	0,15	4	0,45	2	0,3
Confía en la "programación de sentido común" sobre cómo llevar a cabo una tarea	0,1	3	0,3	1	0,1
DEBILIDADES					
Es de tipado débil	0,05	3	0,15	1	0,05
Falta de normas	0,05	3	0,15	1	0,05
Tipeado estático, no permite cambiar el tipo de una variable	0,15	3	0,45	1	0,15
Requiere declaraciones explícitas para funcionar	0,05	3	0,1	4	0,2
Desarrollo complicado	0,15	2	0,3	4	0,6
Utilizan equipos de desarrollo para su mantenimiento	0,05	2	0,15	4	0,2
Controles estrictos en el lenguaje	0,15	3	0,15	3	0,45
Se ejecuta dentro de una máquina virtual , causando lentitud	0,1	1	0,1	3	0,3
OPORTUNIDADES					
Requiere conocimiento menos formal	0,15	4	0,6	2	0,3
Accesible para programadores inexpertos	0,15	4	0,45	2	0,3
Funciona universalmente para cualquier plataforma	0,1	3	0,4	3	0,3
Orientado al desarrollo de aplicaciones web dinámicas con acceso a información almacenada en una Base de Datos.	0,1	4	0,3	3	0,3
Capacidad de conexión con la mayoría de los motores de base de datos que se utiliz	0,1	3	0,3	3	0,3
AMENAZAS					
Poco seguro	0,1	3	0,2	2	0,2
Tiene estrictas expectativas de cómo se expresan las entradas y salidas	0,05	2	0,1	3	0,15
Error en compilación por tener muchos requerimientos por cumplir	0,15	2	0,15	3	0,45
Entorno difícil en servidores de aplicaciones	0,1	1	0,2	2	0,2
Lentitud en cargar la aplicación	0,15	2	0,3	3	0,45
Recursos de hardware	0,1	2	0,2	3	0,3
		TOTAL:	8,15		7

Nota: en la tabla se realiza un análisis entre dos herramientas de programación, con la finalidad de elegir la que más convenga para la realización de la aplicación y abarcar uno de los objetivos del plan de proyecto.

Calificación considerando el valor que más se acopla a las características de

las herramientas y a las necesidades de la aplicación del presente trabajo

- BAJO 1
- MEDIO 2
- ALTO 3
- MUY ALTO 4

En la tabla 5 se detallan los componentes más relevantes a ser tomados en cuenta para el desarrollo de la aplicación, es decir se tomó en cuenta los necesarios específicamente para este trabajo y de acuerdo a las necesidades.

De acuerdo a lo mostrado PHP tiene un mayor valor de ponderación la cual se toma en cuenta, e indica que PHP se está acoplado mejor a las necesidades que se tiene para la aplicación que es parte del actual trabajo.

Tomando en cuenta los puntos que más peso tienen se decide que Java, es recomendable cuando el desarrollo es complicado y se sustenta en equipos de programadores profesionales con mucha más experiencia en lo que es codificación, mientras que PHP es más accesible y entendible para programadores no tan expertos, además que PHP es ágil para equipos pequeños que emplean estándares de codificación y que requieren funcionalidades simples.

Además, PHP es flexible ya que funciona para cualquier plataforma porque el código es procesado completamente en el servidor entregando al usuario final un contenido dinámico.

La unión de PHP para el lenguaje de programación, Apache Server para el servidor web y MySQL para la administración de la base de datos, hace que las tres herramientas sean útiles para el desarrollo de la aplicación. A continuación se da una breve explicación de cada una.

3.1.1 PHP

PHP (*HyperText Preprocessor*), es un lenguaje de programación, que originalmente se diseñó con la finalidad de crear páginas web dinámicas. Es usado principalmente para interpretar del lado del servidor (*server-side scripting*), pero debido a su versatilidad actualmente también puede ser utilizado desde una interfaz de línea de comandos ó en la creación de otros tipos de comandos incluyendo aplicaciones con interfaz gráfica.

Entre sus principales características y por lo cual fue elegida esta herramienta, cabe destacar.

- Su potencia
- Su alto rendimiento,
- Su facilidad de aprendizaje
- Su escasez de consumo de recursos

PHP es capaz de realizar determinadas acciones de una forma fácil y eficaz sin tener que generar programas en un lenguaje distinto al HTML. Esto se debe a que PHP ofrece un extenso conjunto de funciones para la explotación de bases de datos sin complicaciones. Es por esto, que levanta un mayor interés con respecto a los lenguajes pensados para los CGI (Interfaz de entrada común).

La CGI, está definida como una importante tecnología de la *World Wide Web*, que permite a un navegador *web* (cliente), solicitar datos de un programa ejecutado en un servidor *web*. Adicional, la CGI establece un estándar que permite intercambiar datos entre el cliente y el programa. Es un mecanismo de comunicación entre el servidor *web* y una aplicación externa.

3.1.1.1 Características

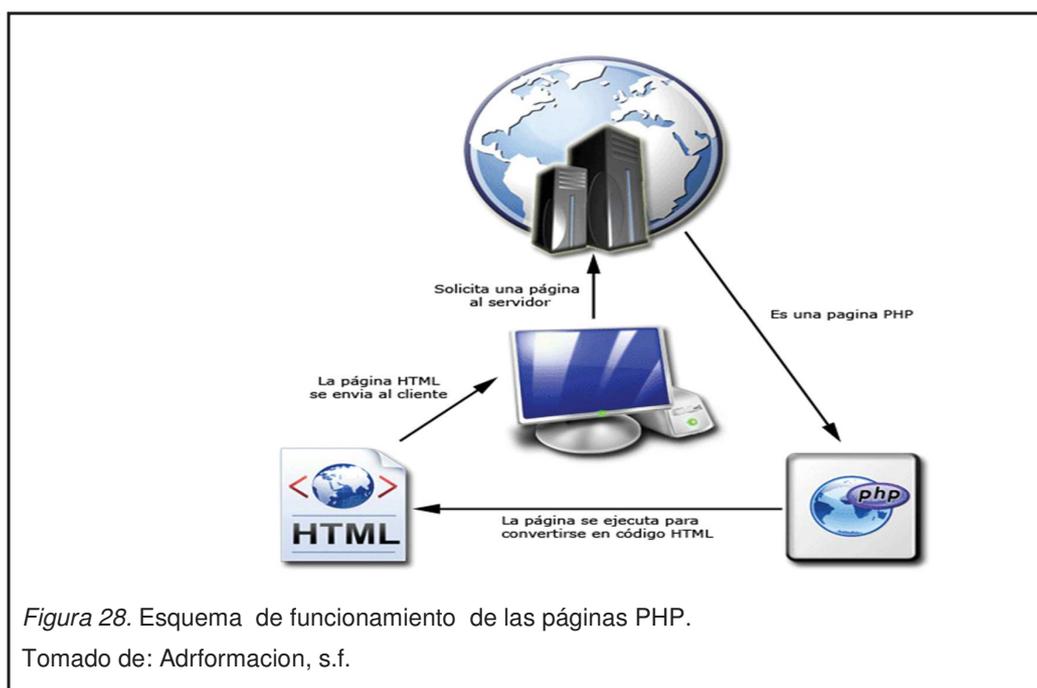
- **Multiplataforma:** la plataforma PHP trabaja tanto con sistemas Unix o Linux con servidor *web* Apache como en sistemas *Windows con Microsoft Internet Information Server*, con esto se logra que el código al momento de pasarlo a alguno de las plataformas mencionadas no deba ser modificado.

Pero, para mejores prestaciones del lenguaje es mejor trabajar con Unix o Linux con el servidor *web* Apache.

La principal ventaja que aporta el uso conjunto de PHP y Apache es que, de esta manera, se puede compilar el intérprete PHP como un módulo de Apache, consiguiendo así que la velocidad de ejecución de una página PHP sea elevada y que el consumo de recursos sea bajo ya que el intérprete PHP se carga una sola vez en memoria. (Adrformacion, 2014)

- **Ejecución en servidor:** se le define como con un lenguaje del lado del servidor ya que se ejecuta en el servidor *web* instantes antes de que se pase a través del internet la página, hacia el usuario. Dicha página que se genera en el servidor está en la capacidad de tener acceso a bases de datos, a tener conexiones en red, entre otros trabajos que deberá realizar con la finalidad de crear la página final que visualizará el cliente.

El usuario tendrá a su disposición solamente una página con el código HTML, que se creó al ejecutar la página PHP. Como las páginas tienen únicamente código HTML haciendo que sea compatible con todos los navegadores.



Página PHP es un programa escrito en PHP que va a generar código HTML. En el momento en que el navegador pide al servidor *web* la página PHP, antes de que se envíe esta página al cliente debe pasar por el intérprete de PHP, el mismo que va a interpretar la información y es este resultado el que contendrá la página PHP, el que llegue a ser visto por el cliente.

- **Es un software libre:** PHP no necesita licencia debido a que es un lenguaje basado en herramientas de software libre, con lo que no se está limitado en su distribución, siendo esta una razón importante por la cual fue tomado en cuenta para este trabajo, además que puede ser ampliado con nuevas funciones en caso de necesitarlo.
- **Agradable sintaxis:** La sintaxis de PHP es similar a la de C, C++, perl, es sencilla y cómoda porque cuando se crea una variable no es necesario indicar de que tipo es, lo que facilita para guardar en ella datos de cualquier tipo, ayudando al desarrollo, el inconveniente de este beneficio es que se puede cometer errores que pueden ser graves y difíciles de corregir ya debido a que se reduce mucho las posibilidades

del intérprete para detectar incompatibilidades entre variables.

- **Trabaja con objetos y herencias:** el lenguaje de programación PHP soporta la programación orientada a objetos, es decir se puede constituir clases para la creación de objetos con sus constructores. Adicional, puede trabajar con herencias, aunque no múltiples. Haciendo de PHP un lenguaje adecuado para personas principiantes o personas que tienen experiencia en el desarrollo de programas.
- **Librería de funciones amplia:** PHP cuenta con una extensa librería de funciones lo que ayuda al desempeño de los desarrolladores. También su potencial puede expandirse ya que se puede utilizar los llamados módulos los cuales también llevan el nombre de extensiones.
- **Compatibilidad:** gran versatilidad de conexión con diferentes bases de datos que actualmente se tiene, pero para un mejor desarrollo se recomienda MySQL y PostgreSQL.
- **Extensa documentación:** tiene una amplia documentación, se puede mencionar que una de las que se destaca es que se tiene todas las funciones del sistema explicadas y ejemplificadas en un único archivo de ayuda.

3.1.1.2 Operadores

PHP brinda la opción de usar operadores: lógicos, condicionales, de asignación o aritméticos.

Los operadores permiten laborar con valores, con los cuales podemos comparar, sumar, restar, multiplicar, diferenciar o hacer una variedad de operaciones usando cadenas numéricas o alfanuméricas.

A continuación se detallan los diferentes operadores con los que trabaja PHP:

- **Operadores Aritméticos:**

Tabla.7 Listado de operadores aritméticos

Operador	Función
+	Suma dos valores numérico
-	Resta dos valores numérico
*	Multiplica dos valores numérico
/	Divide dos valores numérico
%	Obtiene el resto al dividir dos valores
++	Aumenta un valor numérico en una unidad
--	Disminuye un valor numérico en una unidad

- **Operadores de Asignación:**

Tabla. 8 Listado de operadores de asignación

Operador	Función
=	Asigna el valor de la derecha hacia la izquierda
+=	Suma el valor de la derecha con el de la izquierda, y asigna el total al de la izquierda
- =	Resta el valor de la derecha con el de la izquierda, y asigna el total al de la izquierda
*=	Multiplica el valor de la derecha con el de la izquierda, y asigna el total al de la izquierda
/=	Divide el valor de la derecha con el de la izquierda, y asigna el total al de la izquierda
%=	Divide el valor de la derecha con el de la izquierda, y asigna el resto al de la izquierda
.=	Concatena la cadena de la derecha con la de la izquierda, y asigna el conjunto al de la izquierda

- **Operadores Condicionales:**

Tabla. 9 Listado de operadores condicionales

Operador	Función
==	Comprueba si dos cadenas son idénticas
!=	Comprueba si dos cadenas son diferentes
<	Comprueba si el valor de la izquierda es menor que el de la derecha
>	Comprueba si el valor de la izquierda es mayor que el de la derecha
<=	Comprueba si el valor de la izquierda es menor o igual que el de la derecha
>=	Comprueba si el valor de la izquierda es mayor o igual que el de la derecha

- **Operadores Lógicos:**

Tabla. 10 Listado de operadores lógicos

Operador	Función
and	Si ambos valores se cumplen es verdadero
or	Si uno o todos los valores se cumplen es verdadero
xor	Si solo uno de los valores se cumple es verdadero
&&	Idéntico a and
	Idéntico a or

3.1.2 MYSQL

MYSQL es un sistema de gestión de base de datos que puede permitir realizar varias tareas a la vez y que permite proveer servicios y procesamiento a múltiples usuarios a la vez.

Se puede acceder a la base de datos MYSQL a través de programación PHP utilizando una interfaz de programación de aplicación específica.

MSQL fue elegida ya que es muy utilizado en aplicaciones web sobre todo están ligada a PHP, las cuales continuamente están ligadas.

3.1.2.1 Operadores

MySQL, dispone de una gran variedad de operadores para cada uno de los tipos de columna, estos son utilizados con la finalidad de construir expresiones que se usan en cláusulas que pertenecerán a sentencias.

MySQL tiene los siguientes tipos de operadores.

Tabla.11 Listado de operadores de MySQL

Operador	Función
De asignación	Se puede crear variables y usarlas posteriormente en expresiones. Usa la sentencia SET, SELECT
Lógicos	Sirven para crear expresiones lógicas complejas. Usa algebra booleana que ayudan a crear condiciones mucho más precisas TRUE, FALSE, NULL
AND ó &&	Operador binario, el resultado es verdadero sólo si ambos operadores son verdaderos.
OR ó	Operador binario, si ambos operadores son distintos de NULL y si cualquiera es verdadero se tiene un resultado verdadero
XOR	Operador O exclusivo es binario, devuelve NULL si cualquiera de los operandos es NULL. Si ninguno de los operadores es NULL devolverá un valor verdadero si uno de ellos es verdadero, y falso si ambos son verdaderos o los dos falsos.
NOT	Operador de negación, en un operador unitario ya que afecta a un solo operador Si el operando es verdadero devuelve falso, y viceversa. Si el operando es NULL el valor devuelto también es NULL.

3.1.3 APACHE

Apache es un servidor que permite enviar páginas *web* estáticas y dinámicas principalmente en *World Wide Web* (www). Apache no trabaja solo, sino que es necesario un complemento junto con “MySQL” y algunos lenguajes de programación PHP, *Rudy*, *Perl*, etc.

Apache *Web Server*, es un servidor muy utilizado en internet debido a que es rápido, flexible, eficiente y está siempre adaptándose a nuevos protocolos HTTP, es muy utilizado además porque está disponible para varias plataformas como Windows XP y se puede incrustar módulos nuevos que le permiten ejecutar código *script* como PHP, JSP, etc.

3.1.3.1 Características

- Software de código abierto
- Es funcional porque apache a incorporado en su soporte a una amplia gama de lenguajes de programación como PHP, *perl* y *python*.
- Tiene arquitectura modular que aportan a su funcionalidad mediante el posible incremento de módulos externos, algunas características de esto son que permiten comunicaciones seguras, soporte de protocolo, abrir páginas dinámicas, permite autenticar usuarios contra un servidor y abrir páginas dinámicas en PHP, entre otras.

3.2 Desarrollo de la aplicación:

- Para el desarrollo de la aplicación en primer lugar se diseñó la arquitectura de la herramienta, para esto se diseñó una base de datos racional y maquetación web (disponer los elementos visuales de una página web con el fin de crear los elementos con los que el navegante

interactúa).

- Posteriormente se diseñaron las distintas tablas que contendrían información diferenciada y la no redundante, para lo cual se tuvo que adquirir conocimientos más técnicos de desarrollo en PHP y MySQL.
- Luego, inició el desarrollo de la funcionalidad básica como la interfaz con la base de datos, el desarrollo del código de la aplicación fue realizado desde el inicio y paso a paso, en un el punto en que el desarrollo se hizo más complejo se optó por la división del código.
- Desde el comienzo se incorporó el código PHP con el lenguaje HTML con la finalidad de que solo se detalle y muestre la información elemental en la interfaz de usuario.
- Se vio necesario separar el contenido, el diseño, la información de la presentación y para lo que se profundizó el conocimiento del estándar CSS (*Cascading Style Sheet*).
- Una vez creados los módulos básicos de funcionalidad, se empezó a depurar los errores e incrementando funcionalidades. Mientras la aplicación crecía, a la par se ampliaba la modularidad de la misma para crear un código sencillo de modificar y entender.

Arquitectura de aplicación:

A continuación se detallan los diagramas de flujo establecidos para de el desarrollo de la aplicación

- **Arquitectura de software**

FLUJO DE TAREAS MVC

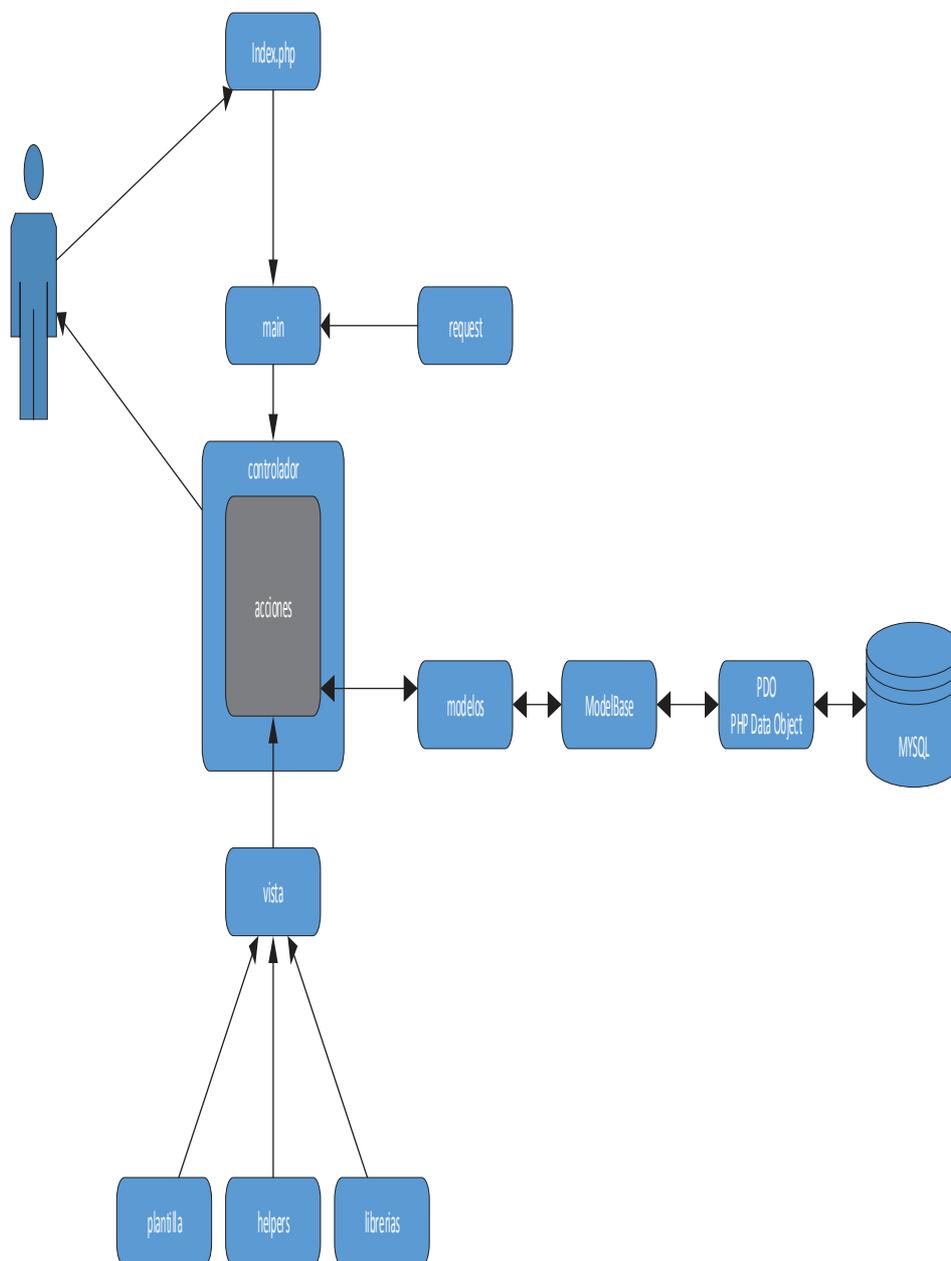
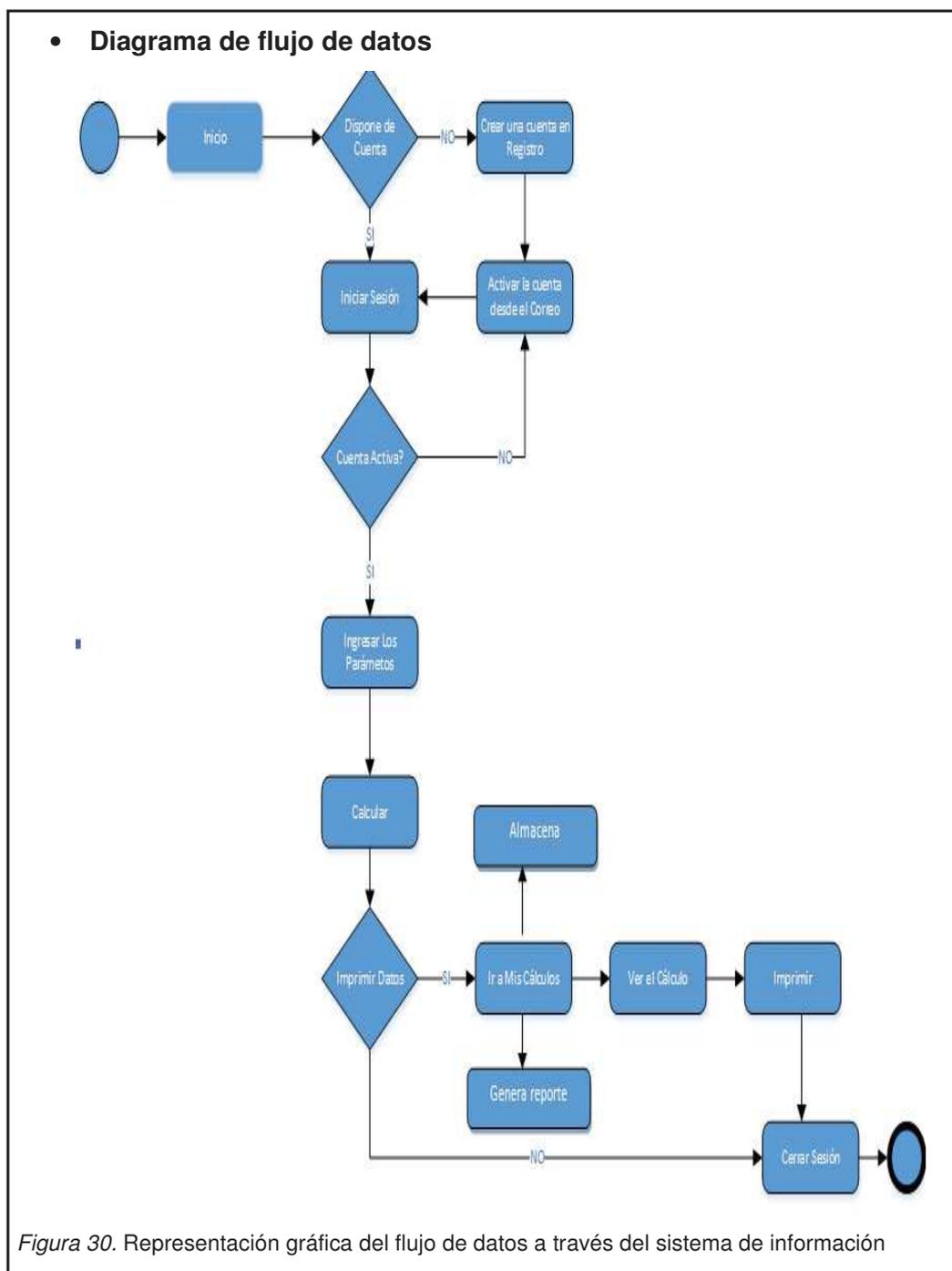


Figura 29. Primera etapa técnica del proceso de Ingeniería del Software que se desarrolla



En el Anexo 3. Se encuentran la codificación y estructura de la base de datos de cómo fue desarrollada la aplicación y como se muestra ante el usuario en la interfaz *frontend*.

Para el uso de la herramienta a través del internet se puede alquilar el servicio de un *web hosting* (alojamiento web) el cual permitirá al usuario poder acceder a la aplicación desde cualquier localidad geográfica únicamente teniendo conectividad a internet; con el servicio que nos presta *web hosting* no se requiere la adquisición de servidores, ip's públicas, contratos con ISP (proveedor de servicios de internet), etc. Para que la herramienta sea usada en la gran red (internet).

Una de las fortalezas de esta herramienta es que tendrá el modo de uso como administrador y una opción como usuario.

3.2.1 Modo Administrador

Con la finalidad de que exista un administrador de la herramienta se realizó un ambiente en el cual la persona que cumpla esta función tenga las siguientes opciones:

- Crear usuarios
- Permitir ingreso a los usuarios
- Modificar, crear, borrar los parámetros utilizados en los cálculos
- Manipular la información que aparecerá en la vista de usuario
- Administrar los datos de los que se enlistan y registran en el sistema
- Acceder a los reportes y cálculos creados por los usuarios

En el Anexo 4. Se presenta el manual de uso en donde se detalla paso a paso las diferentes opciones.

3.2.2 Modo Usuario

Para el usuario en primer lugar debe estar registrado en la plataforma para poder acceder a la herramienta de cálculos, cabe recalcar que el usuario solo podrá ingresar datos para visualizar los resultados.

El usuario podrá acceder a interfaz *Front end* y las actividades que puede hacer son:

- Ingreso y elección de datos para los cálculos
- Obtener resultados de los cálculos
- Generar reportes
- Eliminar reportes

Referirse al Anexo 4.manual de uso.

3.3 Pruebas y Simulaciones

Para las pruebas se tomó como referencia los datos de enlaces reales, es decir de clientes que se encuentran operativos y para los que en su momento realizaron la ingeniería de la red, esta información fue proporcionada por las empresas que colaboraron con el presente proyecto.

Para comparar resultados se detalla a continuación un ejemplo ingresando los datos tanto en la herramienta como en las ecuaciones.

3.3.1 Ingreso de datos en la herramienta

Los datos utilizados son los expresados en la siguiente tabla:

Tabla 12. características para la portadora de la red VSAT son las siguientes:

Cliente	Coordenadas	Modulación	Velocidad Kbps	Técnica de acceso	FEC
Corporación A Salinas-Ecuador	-Longitud 80,99° O -Latitud 2,1862 ° S	QPSK	241.8	TDMA	3/4
Posición del satélite Intelsat	Potencia de Transmisión (Ptx) watts	Diámetro de la antena (metros)	Frecuencia de bajada (GHz)	Frecuencia de subida (GHz)	
45° O	5	1.8	6	4	

Sistema de Calculadora Satelital ANA VILLARREAL ▾

[Inicio](#)
[Calculadora](#)
[Mis Cálculos](#)

Calcular posiciones

CLIENTE
CORPORACION A SALINAS

PRESIÓN
4

MODULACIÓN
QPSK

ANGULO DE POSICIÓN DEL SATÉLITE [GRADOS]
45
0

LONGITUD DE LA ESTACIÓN TERRENA [GRADOS]
80.99
0

LATITUD DE LA ESTACIÓN TERRENA [GRADOS]
2.1862
S

POTENCIA DE TRANSMISIÓN [WATIOS]
5

VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN [KBPS]
241.8

FACTOR DE CORRECCIÓN DE ERRORES:
3/4

FRECUENCIA DE BAJADA [GHZ]
6

FRECUENCIA DE SUBIDA [GHZ]
4

DIÁMETRO DE ANTENA [M]
1.8

Figura 31. Ingreso de valores

Luego del ingreso de datos se obtuvieron los siguientes resultados:



Figura 32. Resultados obtenidos mediante la herramienta

CALCULADORA SATELITAL

Cliente: CORPORACION A SALINAS

Fecha Creación: 2014-11-18 10:52:14

PARÁMETROS DE INGRESO	
PRECISIÓN	4
MODULACIÓN	QPSK
ANGULO DE POSICIÓN DEL SATELITE [GRADOS]	45 O
LONGITUD DE LA ESTACIÓN TERRENA [GRADOS]	80.99 O
LATITUD DE LA ESTACIÓN TERRENA [GRADOS]	2.1802 S
POTENCIA DE TRANSMISIÓN [WATIOS]	5
VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN [KBPS]	241.8
FACTOR DE CORRECCIÓN DE ERRORES	3/4
FRECUENCIA DE BAJADA [GHZ]	6
FRECUENCIA DE SUBIDA [GHZ]	4
DIÁMETRO DE ANTENA [M]	1.8
RESULTADOS	
->ANGULO DE ELEVACIÓN DE LA ANTENA	48.1582°
AZIMUTH	216.0097°
DISTANCIA ESTACIONES TERRENAS Y SATELITE	37199.2052 km
TIEMPO DE RETARDO	123.9984 ms
TIEMPO TOTAL	247.9968 ms
ANCHO DE BANDA [BW]	225.68 kHz
PÉRDIDA EN EL ESPACIO LIBRE	198.414 dB
DENSIDAD DE POTENCIA RECIBIDA	-115.0826
CÁLCULO DEL BACKOFF DE ENTRADA[BOI]	-42.0826 dBW
CÁLCULO DEL BACKOFF DE SALIDA [BOo]	-47.0826 dBW
RELACIÓN PORTADORA/RUIDO TÉRMICO [C/T], ASCENDENTE	-165.2066
RELACIÓN PORTADORA/RUIDO TÉRMICO [C/T], DESCENDENTE	-164.1935 dBW/K
RELACIÓN PORTADORA/RUIDO [C/T], TOTAL	-167.7398 dB/K
RELACIÓN PORTADORA/DENSIDAD DE RUIDO	7.3253 dB
RELACIÓN PORTADORA/DENSIDAD DE RUIDO [C/No] PARA LOS ENLACES DE SUBIDA Y BAJADA DE LA PORTADORA	
[C/No], SUBIDA	66.3934 dB
[C/No], BAJADA	68.1492 dB
RELACIÓN ENERGÍA DEL BIT / DENSIDAD DEL RUIDO ESPECTRAL [Eb/No]	12.5588 dB

Figura 33. Reporte de los cálculos

3.3.2 Ingreso de datos en ecuaciones

1. Cálculos para los ángulos de elevación

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{r - Re \times \cos \theta_2 \times \cos |\theta_s - \theta_1|}{Re * \sin[\cos^{-1}(\cos \theta_2 \times \cos(\theta_s - \theta_1))]} \right] - \cos^{-1}(\cos \theta_2 \times \cos[\theta_s - \theta_1])$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - [6.378 \times 10^3 * \cos(2.18) * \cos|45 - 80.99|]}{6.378 \times 10^3 * \sin[\cos^{-1}(\cos(-2.18) * \cos(45 - 80.99))]} \right] - \cos^{-1}(\cos(2.18) * \cos|[45 - 80.99]|)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - [6.378 \times 10^3 * 0.99 * 0.809]}{6.378 \times 10^3 * \sin[\cos^{-1}(0.99 * 0.809)]} \right] - \cos^{-1}(0.99 * 0.809)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - [5108958.98]}{6.378 \times 10^3 * \sin[\cos^{-1}(0.8)]} \right] - \cos^{-1}(0.8)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{37055041.02}{6.378 \times 10^3 * \sin[\cos^{-1}(36.78)]} \right] - 36.78^\circ$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{37055041.02}{2286477.55} \right] - 36.78^\circ$$

$$\alpha = \tan^{-1}[16.21] - 36.78^\circ$$

$$\alpha = 86.46 - 36.78^\circ$$

$$\alpha = 49.69^\circ$$

2. Cálculo del ángulo azimut para las estación terrena

$$\beta = 180^\circ + \tan^{-1} \left[\frac{\tan |(\theta_s - \theta_1)|}{[\cos \theta_2]} \right]$$

$$\beta = 180^\circ + \tan^{-1} \left[\frac{\tan |(45^\circ - 80.99^\circ)|}{[\cos 2.18]} \right]$$

$$\beta = 180^\circ + \tan^{-1} \left[\frac{-0.7262}{0.99} \right]$$

$$\beta = 180^\circ + (-36.26^\circ)$$

$$\beta = 216.26^\circ$$

3. Cálculo de la distancia desde la estación terrena hacia el satélite

$$d = \sqrt{(Re + H)^2 + Re^2 + 2Re(Re + H) * \sin \left[\alpha + \sin^{-1} \left(\frac{Re}{Re + H} \right) * \cos(\alpha) \right]}$$

$$d = \sqrt{(6.378 + 35.789)^2 + 6.378^2 + 2(6.378 + 35.789) * \sin \left[49.69^\circ + \sin^{-1} \left(\frac{6.378}{6.378 + 35.789} \right) * \cos(49.69^\circ) \right]}$$

$$d = \sqrt{(42.167)^2 + 6.378^2 + 2(42.167) * \sin \left[49.69^\circ + \sin^{-1} \left(\frac{6.378}{42.167} \right) * \cos(49.69^\circ) \right]}$$

$$d = \sqrt{(42.167)^2 + 6.378^2 - (537882252 * \sin[49.69^\circ + 8.669 * 0.647])}$$

$$d = \sqrt{(42.167)^2 + 6.378^2 - (537882252 * \sin[49.69^\circ + 5.61^\circ])}$$

$$d = \sqrt{(42.167)^2 + 6.378^2 - 442206931.76}$$

$$d = \sqrt{1376527841.24}$$

$$d = 37.101,4 \text{ [Km]}$$

4. Cálculo para el tiempo de retardo entre el satélite y la estación terrena

$$t = \frac{d}{c}$$

$$t = \frac{37.101,6 \times 10^3 \text{ [m]}}{3 \times 10^8 \text{ [m/s]}}$$

$$t = 123.7 \text{ ms}$$

El retardo total es $T_{tot} = t * 2$

$$T_{tot} = 123.7 * 2$$

$$T_{tot} = 247.34$$

5. Determinación del ancho de banda requerido por la portadora de la re

Debido a que este cliente trabaja con la modulación QPSK se utilizará la siguiente ecuación:

$$BW = \left[\frac{\left(\frac{Vtx}{FEC} \right)}{2} \right] * 1,4$$

$$BW = \left[\frac{\left(\frac{241.8}{3/4} \right)}{2} \right] * 1,4$$

$$BW = \left[\frac{81.17}{2} \right] * 1,4$$

$$BW = 225.68 \text{ KHz}$$

6. Cálculo de las pérdidas en el espacio libre entre estación terrena y el satélite, enlace ascendente

$$Lp = 92.44 + 20 \log(d)[\text{Km}] + 20 \log(f)[\text{Ghz}]$$

$$Lp = 92.44 + 20 \log(37.101,4)[\text{Km}] + 20 \log(f)[\text{Ghz}]$$

$$Lp = 92.44 + 91.38 + 15.6$$

$$Lp = 199.38 \text{ dB}$$

Al valor obtenido es necesario sumarle las pérdidas por absorción atmosférica y las lluvias de acuerdo a la tabla 3 y 4 detalladas en el capítulo 2, como se trabaja en la banda C la fórmula queda de la siguiente manera:

$$Lu = 0.0371 + 1.91$$

$$Lu = 1.95$$

$$Lp = 0.0408 + 0.2$$

$$Lp = 0.24$$

7. Cálculo de la DFP para la estación

La densidad de flujo por portadora en la estación:

$$DFPs = PIRE[\text{dBW}] + Meu[\text{dB}] + G \left[\frac{\text{dBi}}{\text{m}^2} \right] - Lp - Lu$$

Se procederá primero a calcular el PIRE requerimiento de la ecuación:

- $PIRE = 10 \log(P_{tx}) [dB] + G_{tx}[dB]$

Donde:

P_{tx} = potencia de transmisión 5 watts., existen otros voltajes dependiendo del equipo por lo general es 5 pero también pueden ser de 10,3 y 2 watts.

G_{tx} = ganancia de la antena en la estación y es igual a:

$$G[dBi] = 10 \log\left(\eta \left(\pi * D/\lambda\right)^2\right)$$

Donde:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

f =frecuencia de subida

C = velocidad de la luz (3×10^8 m/s)

η =constante 0.66

D =diámetro de la antena para este ejemplo es de 1.8 metros, también para enlaces satelitales se puede trabajar con valores de 1.8, 2.4 ó 3.8 metros de diámetro.

$$\lambda = \frac{3 * 10^8}{6000000000}$$

$$\lambda = 0.05$$

Reemplazando:

$$G[dBi] = 10 \log\left(0.66 \left(\pi * 1.8/0.05\right)^2\right)$$

$$G[dBi] = 39.26$$

Entonces:

$$PIRE = 10 \log(5)[Watts] + 39.26[dBi]$$

$$PIRE = 6.9897[dBW] + 39.26[dBi]$$

$$PIRE = 46.25[dBW]$$

Para obtener el PDF se reemplazará además de los valores calculados anteriormente, también los siguientes:

- $Meu=3$ [dB] datos constante

La ganancia de la antena de $1[m^2]$ es la ganancia de una antena que fue normalizada idealmente, y la ecuación necesaria:

- $G \left[\frac{dBi}{m^2} \right] = 20 \log(f) + 21.46$

$$G \left[\frac{dBi}{m^2} \right] = 20 \log(6) + 21.46$$

$$G \left[\frac{dBi}{m^2} \right] = 37.0230$$

Reemplazando todos los valores de obtiene el DFP:

$$DFPs = 46.25 + 3 + 37.02 - 199.38 - 1.95$$

$$DFPs = -115.06 \text{ dBW}/m^2$$

8. Cálculo del *Backoff* de entrada y salida para cada portadora

Cálculo del *Backoff* de entrada

Este parámetro se calcula con la siguiente ecuación:

$$BOi[dBW] = DFPS \left[\frac{dBW}{m^2} \right] - DFPSat.et \left[\frac{dBW}{m^2} \right]$$

Donde:

$$DFPSat.et \left[\frac{dBW}{m^2} \right]$$

= -73 flujo de saturación para el transpondedor, valor crítico

$$BOi[dBW] = -115.06 \left[\frac{dBW}{m^2} \right] - (-73) \left[\frac{dBW}{m^2} \right]$$

$$BOi[dBW] = -42.06 \left[\frac{dBW}{m^2} \right]$$

Cálculo del *Backoff* de salida

Este parámetro se calcula con la siguiente ecuación:

$$BOo[dBW] = BOi[dBW] - X[dBW]$$

Donde:

X dependerá de las características del satélite, para este caso el valor es de 5dB.

$$BOo[dBW] = -42.06[dBW] - 5[dBW]$$

$$BOo[dBW] = -47.06[dBW]$$

9. Cálculos para la relación C/T de la portadora en el enlace ascendente

Este parámetro será calculado con la siguiente expresión dada por la ecuación:

$$\left(\frac{C}{N} \right)_u = PIREu[dBW] + Lpu[dB] + Lu[dB] + \left(\frac{G}{T} \right)_s \left[\frac{dB}{K} \right] - k[dBW / K/Hz]$$

Donde:

$$\frac{G}{T} \left[\frac{dB}{K} \right] = \text{es un valor que dependerá del satélite para en este caso el valor extremo es}$$

$$- 7.1$$

$$\frac{C}{T} u \left[\frac{dBW}{K} \right] = 46.26[dBW] - 199.38[dB] + 195 + 7.1 \left[\frac{dB}{K} \right] - 3dB$$

$$\frac{C}{T} u \left[\frac{dBW}{K} \right] = -165.17 \left[\frac{dBW}{K} \right]$$

10. Cálculos para la relación C/T de la portadora, en el enlace descendente, considerando la relación G/T

Para calcular esta parámetro utilizaremos la siguiente ecuación para el enlace descendente:

$$\frac{C}{T} d \left[\frac{dBW}{K} \right] = PIRE[dBW] - L[dB] + \frac{G}{T} \left[\frac{dB}{K} \right] - Meu$$

Primero se calculará las pérdidas del espacio libre para el enlace descendente a una frecuencia de 4 GHz utilizada en banda C, con la ecuación:

- $Lp = 92.44 + 20 \log(d)[Km] + 20 \log(f)[Ghz]$

$$Lp = 92.44 + 20 \log(37.101,6)[Km] + 20 \log(4)[Ghz]$$

$$Lp = 92.44 + 91.38 + 12.04$$

$$Lp = 195.86 [dB]$$

Para el cálculo del PIRE se toma en cuenta el valor entregado por el satélite en este caso para banda C es de 43.5 dB, usamos la fórmula:

$$PIREd = PIRESat + BOo$$

$$PIREd = 43.5 - 47.06$$

$$PIREd = -3.56 [dB]$$

- La $\left(\frac{G}{T}\right) e. t \left[\frac{dB}{K} \right]$ es el valor de figura de mérito y se obtuvo con la ecuación:

$$\frac{G}{T} \left[\frac{dB}{K} \right] = 35 + 20 \log \left(\frac{f}{4} \right)$$

$$\frac{G}{T} \left[\frac{dB}{K} \right] = 35 + 20 \log \left(\frac{6}{4} \right)$$

$$\frac{G}{T} \left[\frac{dB}{K} \right] = 38.52 \left[\frac{dB}{K} \right]$$

Entonces el resultado final es:

$$\frac{C}{T} d \left[\frac{dBW}{K} \right] = -3.56[dBW] - 195.86[dB] + 0.24 + 38.52 \left[\frac{dB}{K} \right] - 3dB$$

$$\frac{C}{T} d \left[\frac{dBW}{K} \right] = -164.14$$

11. Cálculo de la relación C/T total por portadora

El valor total de la relación C/T se obtiene sumando las recíprocas de las C/T individuales con la ecuación:

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}} \right)_{total} = \left(\frac{1}{\frac{C}{T} up} \right) + \left(\frac{1}{\frac{C}{T} d} \right)$$

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}} \right)_{total} = \left(\frac{1}{10^{(-165.17/10)}} \right) + \left(\frac{1}{10^{(-164.14/10)}} \right)$$

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}} \right)_{total} = 3.29 \times 10^{16} + 2.59 \times 10^{16}$$

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}} \right)_{total} = 5.88 \times 10^{16}$$

$$\left(\frac{1}{\frac{C}{T}} \right)_{total} = \left(\frac{1}{5.88 \times 10^{16}} \right)$$

$$(C/T)_{total} = 1.7 \times 10^{-17}$$

$$(C/T)_{total} = 10 \log(1.7 \times 10^{-17})$$

$$(C/T)_{total} = -167.7dBW$$

12. Cálculo de la relación C/N por portadora

Para este parámetro se utilizó la ecuación:

$$\frac{C}{N} [dB] = \left(\frac{C}{T}\right)_{tot} \left[\frac{dB}{K}\right] - 10 \log BW [dB] - K [dBW] / K/Hz$$

Para este ejemplo el ancho de banda calculado es de 225.680 Khz, es decir 225680 Hz para el cálculo debe ser transformado a dBHz con la ecuación:

$$BW [dBHz] = 10 \log(BW [Hz])$$

$$BW [dBHz] = 10 \log(225680)$$

$$BW [dBHz] = 53.53$$

Reemplazando obtenemos

$$\frac{C}{N} [dB] = -167.7 - 55.53 + 228.6$$

$$\frac{C}{N} [dB] = 7.3$$

13. Cálculo de las relación C/No de la portadora para los enlaces ascendente y descendente

Para estos parámetros se utilizarán las ecuaciones:

Enlace ascendente

$$\left(\frac{C}{N}\right)_u = PIREu [dBW] + Lpu [dB] + Lu [dB] + \left(\frac{G}{T}\right)_s \left[\frac{dB}{K}\right] - k [dBW / K/Hz]$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_u = 46.25 - 199.38 - 1.95 - 7.1 + 228.6$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_u = 66.42 dB$$

Enlace descendente

$$\left(\frac{C}{N}\right)_d = -3.56 - 195.86 - 0.24 + 38.52 + 228.6$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_d = 67.46 dB$$

14. Cálculo de la relación Eb/No cada portadora

Para el Eb/No se utiliza la siguiente ecuación y se encuentra para el enlace ascendente y descendente:

Enlace ascendente

$$\left(\frac{Eb}{No}\right)_u = \left(\frac{C}{No}\right)_u - 10 \log(Vtx)$$

Donde:

La velocidad de transmisión debe estar expresada en bits por segundo.

$$\left(\frac{Eb}{No}\right)_u = 66.42 - 10 \log(241800)$$

$$\left(\frac{Eb}{No}\right)_u = 12.6 \text{ [dB]}$$

Enlace descendente

$$\left(\frac{Eb}{No}\right)_d = \left(\frac{C}{No}\right)_d - 10 \log(Vtx)$$

$$\left(\frac{Eb}{No}\right)_d = 67.46 - 10 \log(241800)$$

$$\left(\frac{Eb}{No}\right)_d = 13.62 \text{ [dB]}$$

4. CAPITULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y PRUEBAS

A continuación se realiza un cuadro comparativo de lo obtenido mediante cálculos con las ecuaciones y los obtenidos mediante la aplicación.

Tabla 13. Resumen de los valores obtenidos tanto con los cálculos como en la aplicación, también se tomará en referencia los valores obtenidos para el ejemplo extra que se encuentra en el Anexo 2.

	Corporación A Salinas			Corporación B Macas		
DATOS DE INGRESO						
Longitud	80,99° O			78.20° O		
Latitud	2,1862 °S			2,25 °S		
Modulación	QPSK			QPSK		
Velocidad [Kbps]	241.8			60.88		
Técnica de acceso	TDMA			TDMA		
FEC	3/4			3/4		
Posición del satélite Intelsat	45° O			45° O		
Potencia de Transmisión [watts]	5			5		
Diámetro de la antena [metros]	1.8			1.8		
Frecuencia de bajada [GHz]	6			6		
Frecuencia de subida [GHz]	4			4		
Parámetro calculado	Valor obtenido en los cálculos	Valor obtenido en la herramienta	Porcentaje de Error %	Valor obtenido en los cálculos	Valor obtenido en la herramienta	Porcentaje de Error %
Angulo de elevación de la antena [grados]	49.69	48.1582	3.09	51.31	51.30	0.019
Azimuth [grados]	216.26	216.0097	0.11	213.2	213.22	0.003
Distancia estaciones terrenas y satélite [Km]	37.101,40	37.199,51	0.26	36.999,40	36.999,42	0.009
Tiempo de retardo [ms]	123.7	123.9984	0.24	123.3	123.33	0.024
Tiempo de retardo total [ms]	247.34	247.9968	0.26	246.7	246.66	0.016
Ancho de banda	225.68	225.68	0	56.82	56.82	0

[Bw] [Khz]						
Pérdida en el espacio libre [dB]	199.38	199.414	0.01	199.44	199.36	0.040
Densidad de potencia recibida [DFP]	-115.06	-115.082	0.01	-115.12	-115.03	0.07
Cálculo del backoff de entrada [dBW]	-42.06	-42.082	0.05	-42.12	-42.03	0.21
Cálculo del backoff de salida [dBW]	-47.06	-47.082	0.04	-47.12	-47.03	0.19
Relación portadora/ruido térmico [C/T], ascendente [dBW/°K]	-165.17	-165.206	0.02	-165.24	-165.16	0.04
Relación portadora/ruido térmico [C/T], descendente [dBW/°K]	-164.14	-164.1935	0.03	-164.18	-164.10	0.04
Relación portadora/ruido [C/T], total [dB/°K]	-167.7	-167.7398	0.02	-167.7	-167.67	0.01
Relación portadora/densidad de ruido [C/N] [dB]	7.3	7.3253	0.34	13.25	13.38	0.9
Relación portadora/densidad de ruido [C/No] de subida	66.42	66.3934	0.038	66.36	66.43	0.1
Relación portadora/densidad de ruido [C/No] de bajada	67.46	68.1492	1.02	68.48	68.24	0.3
Relación energía bit / densidad de ruido espectral [Eb/No] [dB]	12.6	12.5588	0.32	18.5	18.59	0.48

En los dos ejemplos de la tabla 13. se detalla los datos ingresados, los resultados y el porcentaje de error que se presentan entre estos. Se puede observar que se tiene un porcentaje de error menor al 1% en su mayoría, esto se consiguió gracias a diferentes y numerosas pruebas realizadas que fueron necesarias debido a que se manejan grandes cantidades y diferente número de decimales lo que causaba un margen de error bastante alto, para solucionar

este inconveniente se vio la necesidad de crear en la aplicación un parámetro adicional (precisión).

Como se puede observar se presenta un error en un solo resultado mayor al 1% (ángulo de la antena 3.09%), en grados este error corresponde a 1.5° de diferencia, que en la práctica no afecta al funcionamiento, ni al apuntamiento de la antena parabólica. De acuerdo a la práctica y a las numerosas pruebas tener una diferencia de 5° en el ángulo de elevación afecta a la instalación y funcionamiento del enlace (información obtenida por personal de ingeniería), lo que corresponde a un 10 % de error, al momento la aplicación presenta un tanto por ciento menor a 1.

5. CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Una vez concluido el presente trabajo de titulación se puede concluir lo siguiente:

- La aplicación presenta un porcentaje de error bajo comparado con los cálculos teóricos, como se puede ver en los ejemplos de enlaces que actualmente están instalados y que sirvieron para realizar pruebas y comparación, haciendo que la herramienta este trabajando bajo las condiciones la hacen bastante exacta.
- El porcentaje de error que tiene de diferencia respecto a los cálculos se presenta debido a que se manejan magnitudes grandes, haciendo que el uso del parámetro de precisión sea muy importante para obtener los resultados correctos.
- La aplicación sirve para empresas *carrier*, para las contratistas y para el personal técnico, ya que presenta los parámetros que pueden ayudar para el diseño del enlace útiles para el diseño de ingeniería y para la posterior instalación de la antena satelital.
- El reporte que la herramienta permite imprimir, esto es importante para los técnicos que necesitan enviar un informe posterior a la instalación, dando mayor seguridad a la empresa proveedora de que el enlace fue instalado y está trabajando con los parámetros de ingeniería.
- Con el uso de la aplicación se evita utilizar las hojas de Excel o utilizar el método empírico que actualmente las empresas proveedoras del servicio de enlaces satelitales utilizan para obtener los parámetros útiles para el diseño de ingeniería de enlaces satelitales, con el ingreso de pocos datos propios para cada cliente.

- Gracias a la base de datos de la herramienta, posteriormente se podrá revisar la información para posibles fallas de funcionamiento del enlace, siendo una ayuda para poder encontrar la posible causa de la falla.
- La herramienta tiene la opción de ser utilizada en modo usuario, desde cualquier zona geográfica a través del internet gracias a la contratación de un *web hosting*. Esta propiedad puede ser de gran utilidad para el personal de campo quienes podrían acceder a la aplicación directamente y obtener los datos que de ingeniería que les ayudará a instalar el enlace.

5.2 Recomendaciones

- Al realizar los cálculos para el balance del enlace se recomienda utilizar las condiciones o valores críticos en cuanto a las peores condiciones meteorológicas, con la finalidad de obtener resultados que garanticen que el enlace funcionará correctamente o en el peor de los casos pueda hacerlo en ambientes extremos.
- Aun cuando se puede trabajar con los satélites que cubran todo el globo terráqueo, se recomienda utilizar a los satélites que tengan mejor pisada (cobertura) en Ecuador, para delimitar los parámetros a ingresar y también obtener un mejor enlace.
- Se recomienda integrar la aplicación con otras herramientas, con la finalidad de desarrollar una general, para el uso de los profesores y estudiantes, permitiendo que los usuarios puedan acceder a la aplicación dentro de la universidad.
- El software podría ser utilizado con finalidad didáctica, pudiendo aportar a los estudiantes una herramienta para conocer más sobre lo que es un

enlace satelital y los parámetros que necesitamos conocer como ingenieros para realizar y escoger los elementos adecuados que conforman un enlace satelital.

- Al ser el programa un prototipo puede aún tener muchas más opciones de mejora, que de requerirlo y ver los beneficios que presenta, las empresas de telecomunicaciones podrían fortalecer el programa con más seguridades, calidad de servicio, entre otras fortalezas que brinden una herramienta sólida.

Referencias:

- Adrformacion. (s.f.). (2014). *Cursos subvencionados para trabajadores*. Recuperado el 12 Julio de 2014 de <http://www.adrformacion.com/cursos/php/leccion1/tutorial1.html>
- Apache. (s.f.). (2013). *Página Oficial*. Recuperado el 12 de Julio de 2014 de <http://httpd.apache.org/Applications>. Washington, Estados Unidos: Wiley.
- Enabierto, (s.f.). *¿Por qué se usa la banda C en zonas tropicales?*. Recuperado el 25 de Junio de 2014 de <http://noticias.enabierto.es/2012/04/por-que-se-usa-la-banda-c-en-los-paises.html>.
- Fortescue, P. y Graham S. (2003). *Spacecraft Systems Engineering* (3a. Ed.). New York, Estados Unidos: Wiley.
- García, L. (2000). *Uso en el Ecuador de los servicios que prestarán los satélites de Intelsat*. Guayaquil, Ecuador: Espol.
- Gomezjurado, M. (2013). *Diseño de una Red de Monitoreo Sísmico y Volcánico con Transmisión VSAT para el Instituto Geofísico Nacional*. Quito, Ecuador.
- Harlan, H. (2005). *Stripline Circuit Design*. Texas, Estados Unidos: Microwave Associates Burlington Mass.
- Hernández, P. y Ramos L. (2003). Recuperado el 14 de Junio de 2014, de <http://tesiuami.izt.uam.mx/uam/asp/am/tesis.php>.
- INTESAT. (s.f.). (2013). *Satellites and Coverage Maps*. Recuperado el 17 de Septiembre de 2014 de <http://www.intelsat.com>
- Maini, A. y Agrawal, V. (2006). *Satellite Technology - Principles and Applications*. Washington, Estados Unidos: Wiley.
- MySQL. (s.f.). (2014). *Página Oficial*. Recuperado el 12 Julio de 2014 de <http://www.mysql.com/>
- Ramos, E. (2002). *Estudio de los Satélites de Nueva Generación y sus Aplicaciones en el Ámbito de las Telecomunicaciones*. Recuperado el 27 de Junio de 2014 de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4193/1/CD-2563.pdf>

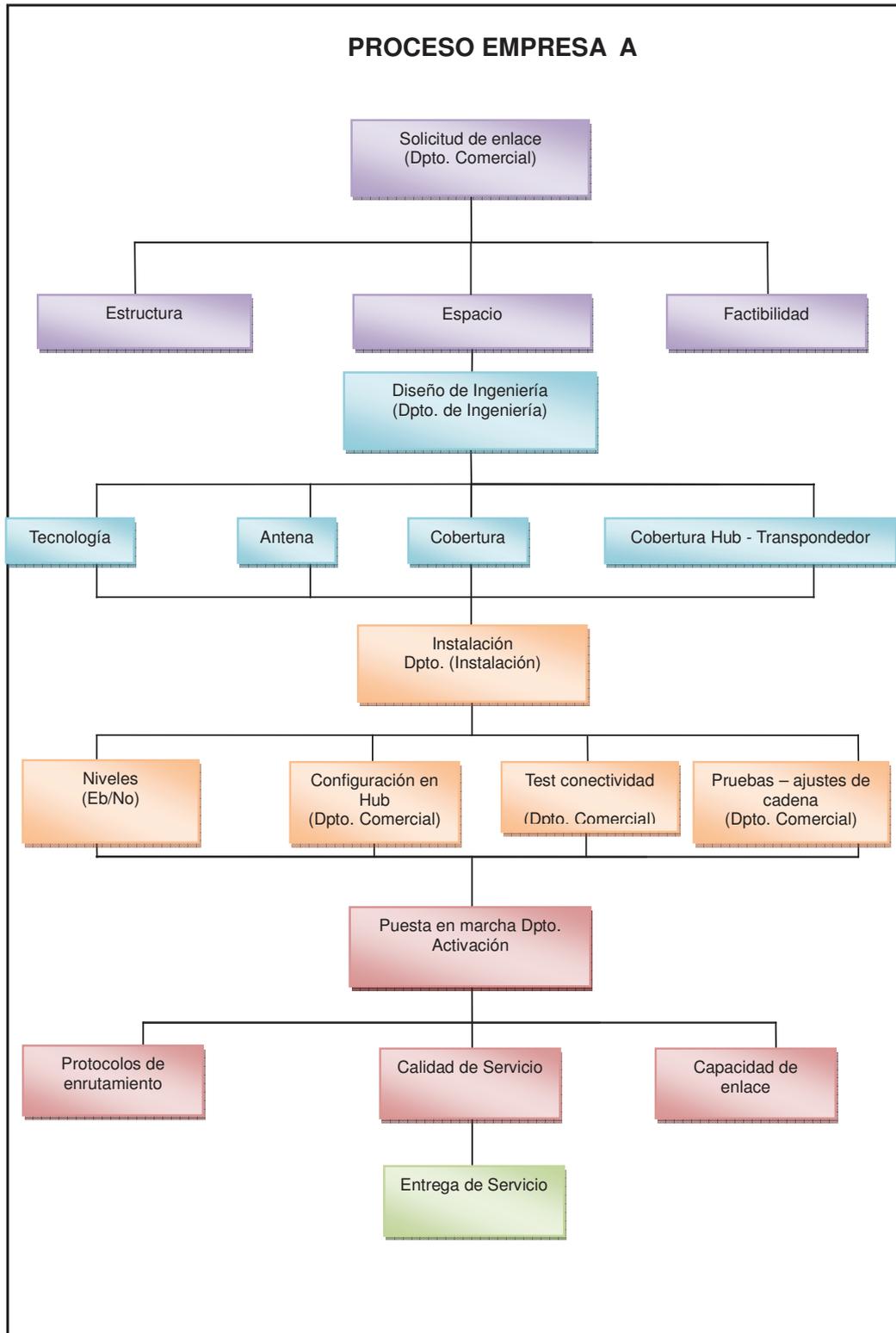
- Rapidtables. (s.f.). (2014). *dB Converter*. Recuperado el 12 de Junio de 2014 de <http://www.rapidtables.com/convert/electric/db-converter.htm>.
- Ruiz, J. (1989). *Los satélites de comunicaciones*. (1ª.ed.). Barcelona, España: GERSA, Industria gráfica.
- Sevilla, A. (1992). *Las Nuevas Tecnologías de la Información en la educación*. México, D.F., México: McGraw Hill.
- Telecomhall. (s.f.). *¿Qué es Eb/No?*. Recuperado el 10 de mayo de 2014 de <http://www.telecomhall.com/es/que-es-ecio-y-ebno.aspx>.
- UIT. (2002). En *Satellite Communications Manual* (3a.Ed). New York, USA: Wiley Interscience.
- ViaSatellite. (s.f.). (2013). *Página oficial*. Recuperado el 17 de septiembre de 2014 de www.viasatellite.com
- Wertz, J y Larson, W. (1999). *Space Mission analysis and Design*. Bostom, Estados Unidos: Microcosm.
- Wikipedia, (s.f). *Página Oficial*. Recuperado el 24 de enero del 2014 de www.wikipedia.org.

ANEXOS

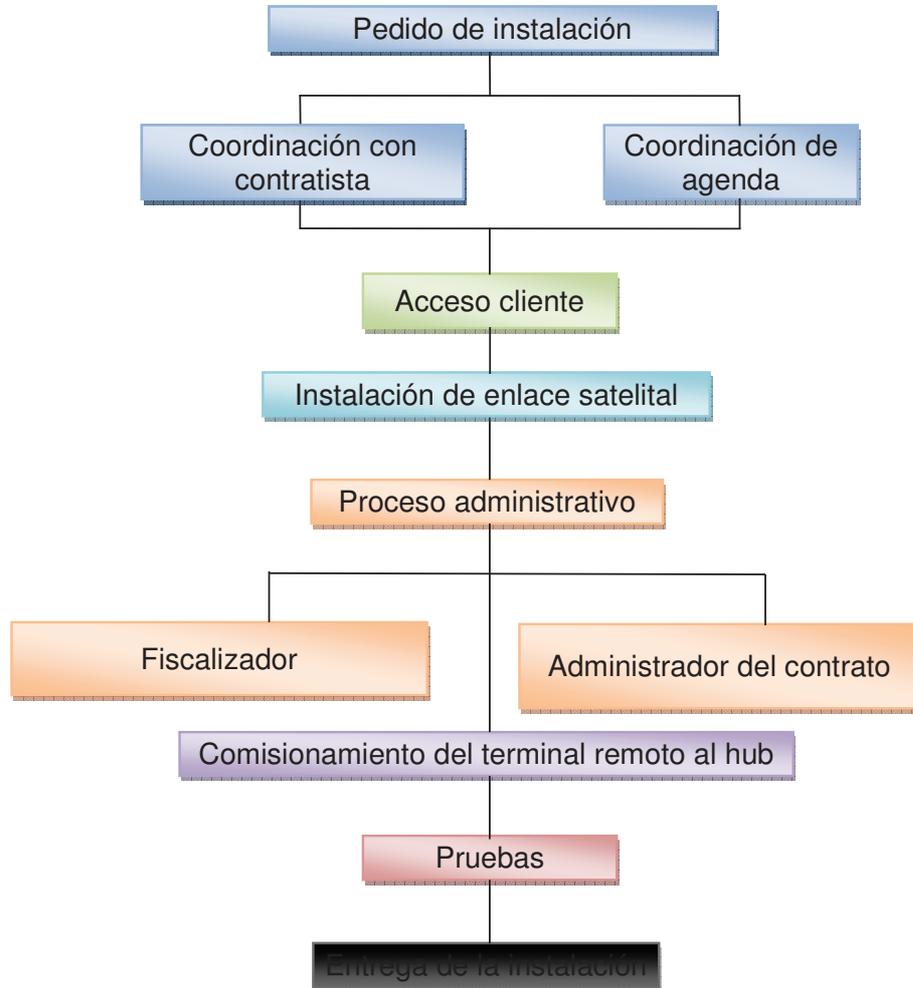
ANEXO 1

PROCESOS COMPLETOS PARA LA INSTALACION DE ENLACES SATELITALES DE LAS EMPRESAS DE TELECOMUNICACIONES TOMADAS COMO REFERENCIA

PROCESO EMPRESA A



PROCESO EMPRESA B



ANEXO 2

EJEMPLOS DE SIMULACIONES REALIZADAS CALCULOS Y PRUEBAS EN HERRAMIENTA

Datos para cálculos.

Cliente	Coordenadas	Modulación	Velocidad Kbps	Técnica de acceso	FEC
Cliente Corporación B- Macas	-Latitud 78.20° O -Longitud 2,25 ° S	QPSK	60.88	TDMA	3/4

Posición del satélite Intelsat	Potencia de Transmisión (Ptx) Voltios	Diámetro de la antena (mtrs)	Frecuencia de bajada (Ghz)	Frecuencia de subida (Ghz)
45° O	5	1.8	6	4

- Ingreso de datos en ecuaciones:

1. Cálculos para los ángulos de elevación

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{r - Re \times \cos \theta_2 \times \cos |\theta_s - \theta_1|}{Re \times \sin [\cos^{-1} (\cos \theta_2 \times \cos (\theta_s - \theta_1))]} \right] - \cos^{-1} (\cos \theta_2 \times \cos [\theta_s - \theta_1])$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - [6.378 \times 10^3 * 0.999 * \cos 0.837]}{6.378 \times 10^3 * \sin [\cos^{-1} (0.999 * 0.837)]} \right] - \cos^{-1} (0.999 * 0.837)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{42.164 \times 10^3 - 5333047.61}{6.378 \times 10^3 * \sin [33.26]} \right] - 33.26$$

$$\alpha = 86.57 - 33.26$$

$$\alpha = 51.31^\circ$$

2. Cálculo del ángulo azimut para las estación terrena

$$\beta = 180^\circ + \tan^{-1} \left[\frac{\tan |(\theta_s - \theta_1)|}{[\cos \theta_2]} \right]$$

$$\beta = 180^\circ + \tan^{-1} \left[\frac{\tan |(45^\circ - 78.20^\circ)|}{[\cos 2.25]} \right]$$

$$\beta = 180^\circ + \tan^{-1} \left[\frac{0.654}{0.999} \right]$$

$$\beta = 180^\circ + 33.2^\circ$$

$$\beta = 213.2^\circ$$

3. Cálculo de la distancia desde la estación terrena hacia el satélite

$$d = \sqrt{(Re + H)^2 + Re^2 + 2Re(Re + H) * \sin \left[\alpha + \sin^{-1} \left(\frac{Re}{Re+H} \right) * \cos(\alpha) \right]}$$

$$d = \sqrt{1778055889 + 40678884 - 537882252 * \sin \left[51.31^\circ + \sin^{-1} \left(\frac{6.378}{42167} \right) * 0.625 \right]}$$

$$d = \sqrt{1818734773 + 537882252 * \sin[53.31 + 8.669 * 0.625]}$$

$$d = \sqrt{1368956336.1}$$

$$d = 36.999,4 \text{ Km}$$

4. Cálculo para el tiempo de retardo entre el satélite y la estación terrena

$$t = \frac{d}{c}$$

$$t = \frac{36.999,4 \times 10^3 [m]}{3 \times 10^8 [m/s]}$$

$$t = 123.3ms$$

El retardo total es $T_{tot} = t * 2$

$$T_{tot} = 123.3 * 2$$

$$T_{tot} = 246.7ms$$

5. Determinación del ancho de banda requerido por la portadora de la red

Debido a que este cliente trabaja con la modulación QPSK se utilizará la siguiente ecuación:

$$BW = \left[\frac{\left(\frac{V_{tx}}{FEC} \right)}{2} \right] * 1,4$$

$$BW = \left[\frac{\left(\frac{60.88}{3/4} \right)}{2} \right] * 1,4$$

$$BW = [40.59] * 1,4$$

$$BW = 56.82 \text{ KHz}$$

6. Cálculo de las pérdidas en el espacio libre entre estación terrena y el satélite, enlace ascendente

$$Lp = 92.44 + 20 \log(d)[\text{Km}] + 20 \log(f)[\text{Ghz}]$$

$$Lp = 92.44 + 20 \log(36.999,4)[\text{Km}] + 20 \log(6)[\text{Ghz}]$$

$$Lp = 92.44 + 91.36 + 15.6$$

$$Lp = 199.44 \text{ dB}$$

7. Cálculo de la DFP para la estación

$$DFPs = PIRE[\text{dBW}] + Meu[\text{dB}] + G \left[\frac{\text{dBi}}{\text{m}^2} \right] - Lp - Lu$$

$$DFPs = 46.25 + 3 + 15.56 + 21.46 - 199.44 - 1.95$$

$$DFPs = -115.12 \text{ dBW/m}$$

8. Cálculo del Backoff de entrada y salida para cada portadora

Cálculo del *Backoff* de entrada

$$BOi[\text{dBW}] = DFPs \left[\frac{\text{dBW}}{\text{m}^2} \right] - DFPs_{\text{sat. et}} \left[\frac{\text{dBW}}{\text{m}^2} \right]$$

$$BOi[\text{dBW}] = -115.12 \left[\frac{\text{dBW}}{\text{m}^2} \right] - (-73) \left[\frac{\text{dBW}}{\text{m}^2} \right]$$

$$BOi[\text{dBW}] = -42.12 \left[\frac{\text{dBW}}{\text{m}^2} \right]$$

Cálculo del *Backoff* de salida

$$BOo[\text{dBW}] = BOi[\text{dBW}] - X[\text{dBW}]$$

$$BOo[\text{dBW}] = -42.12[\text{dBW}] - 5[\text{dBW}]$$

$$BOo[\text{dBW}] = -47.12[\text{dBW}]$$

9. Cálculos para la relación C/T de la portadora en el enlace ascendente

$$\left(\frac{C}{N_c}\right)u = PIREu[dBW] + Lpu[dB] + Lu[dB] + \left(\frac{G}{T}\right)s \left[\frac{dB}{K}\right] - k[dBW/^\circ K/Hz]$$

$$\frac{C}{T}u \left[\frac{dBW}{^\circ K}\right] = 46.26[dBW] - 199.44[dB] - 195 - 7.1 \left[\frac{dB}{^\circ K}\right] - 3dB$$

$$\frac{C}{T}u \left[\frac{dBW}{^\circ K}\right] = -165.24 \left[\frac{dBW}{^\circ K}\right]$$

10. Cálculos para la relación C/T de la portadora, en el enlace descendente, considerando la relación G/T

$$Lp = 92.44 + 20 \log(d)[Km] + 20 \log(f)[Ghz]$$

$$Lp = 92.44 + 20 \log(36.999,6)[Km] + 20 \log(4)[Ghz]$$

$$Lp = 92.44 + 91.36 + 12.04$$

$$Lp = 195.84 dB$$

$$PIREd = PIRE Sat + BOo$$

$$PIREd = 43.5 - 47.12$$

$$PIREd = -3.62dB$$

$$\frac{C}{T}d \left[\frac{dBW}{^\circ K}\right] = PIRE[dBW] - L[dB] + \frac{G}{T} \left[\frac{dB}{^\circ K}\right] - Meu$$

$$\frac{C}{T}d \left[\frac{dBW}{^\circ K}\right] = -3.62[dBW] - 195.84[dB] - 0.24 + 38.52 \left[\frac{dB}{^\circ K}\right] - 3dB$$

$$\frac{C}{T}d \left[\frac{dBW}{^\circ K}\right] = -164.18$$

11. Cálculo de la relación C/T total por portadora

$$\left(\frac{1}{T}\right)_{total} = \left(\frac{1}{T^{up}}\right) + \left(\frac{1}{T^d}\right)$$

$$\left(\frac{1}{T}\right)_{total} = \left(\frac{1}{10^{(-165.24/10)}}\right) + \left(\frac{1}{10^{(-164.18/10)}}\right)$$

$$\left(\frac{1}{T}\right)_{total} = 3.31 \times 10^{16} + 2.63 \times 10^{16}$$

$$(C/T)_{total} = 1.68 \times 10^{-17}$$

$$(C/T)_{total} = 10 \log(1.68 \times 10^{-17})$$

$$(C/T)_{total} = -167.7 \text{ dBW}$$

12. Cálculo de la relación C/N por portadora

$$BW[\text{dBHz}] = 10 \log(BW[\text{Hz}])$$

$$BW[\text{dBHz}] = 10 \log(56820)$$

$$BW[\text{dBHz}] = 47.55$$

$$\frac{C}{N}[\text{dB}] = \left(\frac{C}{T}\right)_{tot} \left[\frac{\text{dB}}{\text{°K}}\right] - 10 \log BW[\text{dB}] - K[\text{dBW}/\text{°K}/\text{Hz}]$$

$$\frac{C}{N}[\text{dB}] = -167.7 - 47.55 + 228.6$$

$$\frac{C}{N}[\text{dB}] = 13.25$$

13. Cálculo de la relación C/No de la portadora para los enlaces ascendente y descendente

Enlace ascendente

$$\left(\frac{C}{N_s}\right)_u = PIRE_u[\text{dBW}] + L_{pu}[\text{dB}] + L_u[\text{dB}] + \left(\frac{G}{T}\right)_s \left[\frac{\text{dB}}{\text{K}}\right] - k[\text{dBW}/\text{°K}/\text{Hz}]$$

$$\left(\frac{C}{N_s}\right)_u = 46.25 - 199.44 - 1.95 - 7.1 + 228.6$$

$$\left(\frac{C}{N_c}\right)_u = 66.36dB$$

Enlace descendente

$$\left(\frac{C}{N_c}\right)_d = -3.56 - 195.84 - 0.24 + 38.52 + 228.6$$

$$\left(\frac{C}{N_c}\right)_d = 67.48dB$$

14. Cálculo de la relación Eb/No cada portadora

Enlace ascendente

$$\left(\frac{Eb}{No}\right)_u = \left(\frac{C}{No}\right)_u - 10 \log(Vtx)$$

$$\left(\frac{Eb}{No}\right)_u = 66.36 - 10 \log(60880)$$

$$\left(\frac{Eb}{No}\right)_u = 18.5dB$$

- **Resultados obtenidos en la herramienta**

Ingreso de datos:

Sistema de Calculadora Satelital ANA VILLARREAL

Inicio
Calculadora
Mis Cálculos

Calcular posiciones

CLIENTE
Corporación B- Macas

PRESIÓN
4

MODULACIÓN
QPSK

ANGULO DE POSICIÓN DEL SATÉLITE (GRADOS)
45
0

LONGITUD DE LA ESTACIÓN TERRENA (GRADOS)
78.20
0

LATITUD DE LA ESTACIÓN TERRENA (GRADOS)
2.25
S

POTENCIA DE TRANSMISIÓN (VOLTIOS)
5

VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN (KBPS)
60.00

FACTOR DE CORRECCIÓN DE ERRORES:
3/4

FRECUENCIA DE BAJADA (GHZ)
6

FRECUENCIA DE SUBIDA (GHZ)
4

DIÁMETRO DE ANTENA (M)
1.0

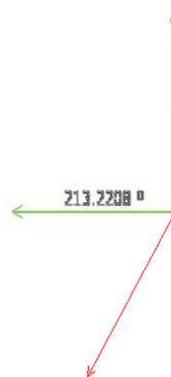
Resultados:

RESULTADOS	
ANGULO DE ELEVACIÓN DE LA ANTENA	51.3038°
AZIMUTH	213.2208°
DISTANCIA ESTACIONES TERRENAS Y SATELITE	36999.4275 km
TIEMPO DE RETARDO	123.3314 ms
TIEMPO TOTAL	246.6628 ms
ANCHO DE BANDA [BW]	56.821333333333 khz
PÉRDIDA EN EL ESPACIO LIBRE	199.368 dB
DENSIDAD DE POTENCIA RECIBIDA	-115.0366
CÁLCULO DEL BACKOFF DE ENTRADA[BO _i]	-42.0366 dBW
CÁLCULO DEL BACKOFF DE SALIDA [BO _o]	-47.0366 dBW
RELACIÓN PORTADORA/RUIDO TÉRMICO [C/T], ASCENDENTE	-165.1606 dBW/K
RELACIÓN PORTADORA/RUIDO TÉRMICO [C/T], DESCENDENTE	-164.1007 dBW/K
RELACIÓN PORTADORA/RUIDO [C/T], TOTAL	-167.6732 dB/K
RELACIÓN PORTADORA/DENSIDAD DE RUIDO	13.3817 dB
RELACIÓN PORTADORA/DENSIDAD DE RUIDO [C/N ₀] PARA LOS ENLACES DE SUBIDA Y BAJADA DE LA PORTADORA	
[C/N ₀], SUBIDA	66.4394 dB
[C/N ₀], BAJADA	68.242 dB
RELACIÓN ENERGÍA DEL BIT / DENSIDAD DEL RUIDO ESPECTRAL [Eb/N ₀]	18.5947 dB

ANGULO DE ELEVACIÓN



ANGULO DE AZIMUTH



Re-Calcular

Limpiar

Reporte:

CALCULADORA SATELITAL

Cliente: Corporación B- Macas

Fecha Creación: 2014-11-16 11:45:14

PARAMETROS DE INGRESO	
PRESICIÓN	4
MÓDULACIÓN	QPSK
ÁNGULO DE POSICIÓN DEL SATELITE [GRADOS]	45 O
LONGITUD DE LA ESTACIÓN TERRENA [GRADOS]	78.20 O
LATITUD DE LA ESTACIÓN TERRENA [GRADOS]	2.25 S
POTENCIA DE TRANSMISIÓN [VOLTIOS]	5
VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN [KBPS]	60.88
FACTOR DE CORRECCIÓN DE ERRORES	3/4
FRECUENCIA DE BAJADA [GHZ]	6
FRECUENCIA DE SUBIDA [GHZ]	4
DIÁMETRO DE ANTENA [M]	1.8

RESULTADOS	
>ÁNGULO DE ELEVACIÓN DE LA ANTENA	51.3038°
AZIMUTH	213.2208°
DIStANCIA ESTACIONES TERRENAS Y SATELITE	30999.4275 km
TIEMPO DE RETARDO	123.3314 ms
TIEMPO TOTAL	246.6628 ms
ANCHO DE BANDA [BW]	56.821333333333 khz
PÉRDIDA EN EL ESPACIO LIBRE	199.368 dB
DENSIDAD DE POTENCIA RECIBIDA	-115.0366
CÁLCULO DEL BACKOFF DE ENTRADA[B0i]	-42.0366 dBW
CÁLCULO DEL BACKOFF DE SALIDA [B0o]	-47.0366 dBW
RELACIÓN PORTADORA/RUIDO TÉRMICO [C/T], ASCENDENTE	-165.1606
RELACIÓN PORTADORA/RUIDO TÉRMICO [C/T], DESCENDENTE	-164.1067 dBW/K
RELACIÓN PORTADORA/RUIDO [C/T], TOTAL	-167.6732 dB/K
RELACIÓN PORTADORA/DENSIDAD DE RUIDO	13.3817 dB
RELACION PORTADORA/DENSIDAD DE RUIDO [C/No] PARA LOS ENLACES DE SUBIDA Y BAJADA DE LA PORTADORA	
[C/No], SUBIDA	66.4394 dB
[C/No], BAJADA	66.242 dB
RELACIÓN ENERGÍA DEL BIT / DENSIDAD DEL RUIDO ESPECTRAL [Eb/No]	18.5947 dB

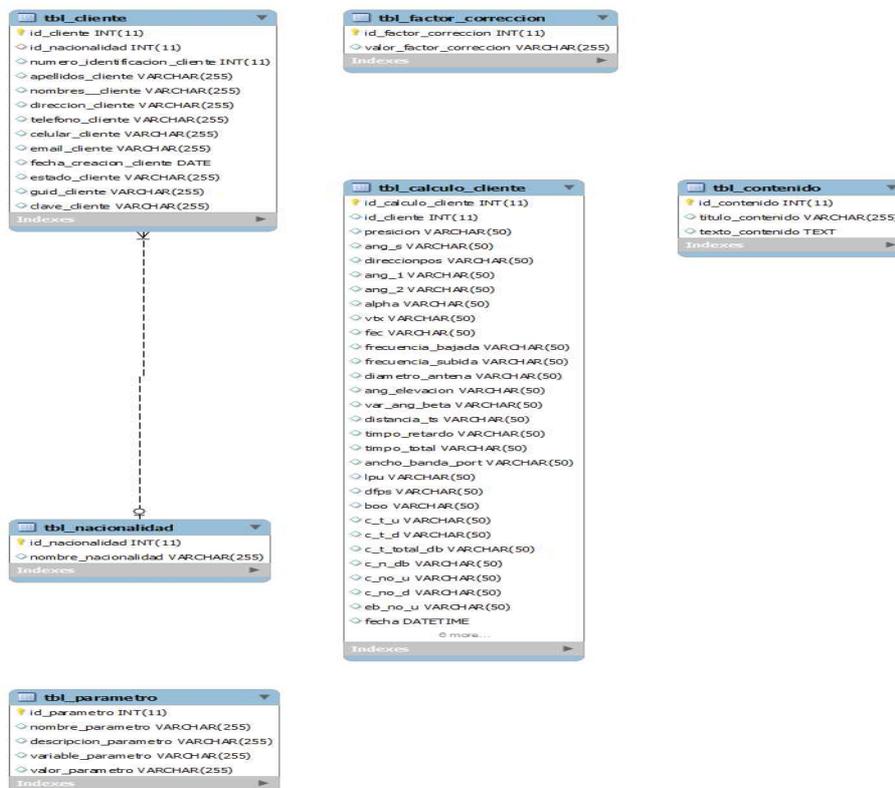
ANEXO 3

CODIFICACIÓN Y ESTRUCTURA DE LA BASE DE DATOS

Herramientas

- Servidor
 - Apache 2.4
 - PHP 5.4
 - MySql 5.x
- Interfaz de cliente
 - Javascript
 - JQuery
 - JQuery.ui
 - JQueryDataTables
 - Bootstrap 3.1

ESTRUCTURA DE LA BASE DE DATOS



Tbl_parametro

Contiene la información de las constantes para los cálculos.

Tbl_factor_correccion

Contiene la información de los valores disponibles para el factor de corrección

Tbl_nacionalidad

Almacena las nacionalidades de los clientes

Tbl_cliente

Contiene la información del registro de los clientes (Usuarios del Frontend)

Tbl_calculo_cliente

Guarda los cálculos realizados por los usuarios desde el frontend

Tbl_contenido

Guarda la información de la pagina inicial

CODIFICACIÓN

El sistema fue desarrollado con arquitectura MVC.



Estructura de directorios

Raíz de la Aplicación

administrador

-----app

-----default

-----controllers

-----models

-----views

----plantilla app

----default

-----controllers

-----models

-----views

conf librerías

----core

-----controles

-----xtcontroles

-----xmail plantilla

ARCHIVO DE CONFIGURACIÓN

Ubicación: conf/config.php

Guarda la configuración de la conexión a la base de datos, así como el nombre del sistema y plantilla a utilizar.

```
<?php
/*invoca a la clase de configuracion*/
$config = XTConfig::singleton();
$config->set('XTSITE_NAME', 'Sistema de Calculadora Satelital');
$config->set('XTSITE_PATH', curPageURL());

$config->set('XTSITE_PATH_ABSOLUTE', str_replace("conf", "",
str_replace("\\", '/', dirname(__FILE__)));
$config->set('XTMEDIA_PATH', $config->get("XTSITE_PATH"). 'media/');
$config->set('XTMEDIA_PATH_ABSOLUTE', $config-
>get("XTSITE_PATH_ABSOLUTE"). 'media/');

$config->set('XTDBHOST', 'localhost');
```

```

$config->set('XTDBNAME', 'calculadorasat');
$config->set('XTDBUSER', 'root');
$config->set('XTDBPASS', 'admin');
$config->set('XTSITE_KEY', 'calsal001');
$config->set('XTVALIDABROWSER', 'N');
$config->set('XTVALIDAUSUARIO', 'N');
$config->set('XT_THEMA_ADMIN_NAME', 'default');
$config->set('XT_THEMA_FRONT_NAME', 'default');
$config->set('DS', '/');
$config->set('XTRECORD_x_PAGES', '20');
$config->set('XT_DEBUG_MODE', 'N');

```

XTMAIL PARA ENVÍO DE CORREO PARA EL REGISTRO

Ubicación: librerías/core/controles/XTMail/XTMail.php

```

class XTMail{
    public static function Enviar($asunto, $mensaje, $destinatario, $nombredestinatario, $archivo=""){
        $mail = new PHPMailer();
        $mail->IsSMTP();
        $mail->SMTPAuth = true;
        $mail->SMTPSecure = 'ssl';
        $mail->Host = 'malaga.websitewelcome.com';
        $mail->Port = 465;
        $mail->Username = 'alex@ecualatino.com';
        $mail->Password = 'xxxxxxxx';

        $mail->From = 'alex@ecualatino.com';
        $mail->FromName = "Calculadora de Posicionamiento
Satelite";
        $mail->Subject = "$asunto";
        $mail->MsgHTML("$mensaje");
        $mail->AddAddress("$destinatario", "$nombredestinatario");
        $mail->IsHTML(true);
        if($archivo!=""){
            $mail->AddAttachment($archivo);
        }
        $transret = $mail->Send();
        if($transret!=true){
            //echo $mail->ErrorInfo;
        }
        return $transret;
    }
}

```

REGISTRO DE USUARIOS

Ubicación: app/default/controllers/indexController.php

Método de registro de usuario

```

public function registro(){
    $rs_front = new frontModel();
    $xtformaction = XTUtils::Request("xtformaction");
    if($xtformaction=="")
    {
        $data["XTFMODE"] = 'ADD';
    }
}

```

```

        $data["listado_nacionalidad"] = $rs_front->Nacionalidad();
Muestra el formulario de registro
        $this->view->show("registro", $data);
    }
elseif($xtformaction=="GUARDAR"){
Inicio el guardado del nuevo usuario
extract(XTUutils::AllVars());
    $tranret = $rs_front-
>ClienteInsertar($id_nacionalidad,$numero_identificacion_cliente,$apel
lidos_cliente,$nombres_cliente,$direccion_cliente,$telefono_cliente,$
celular_cliente,$email_cliente,$fecha_creacion_cliente,$estado_cliente
,$guid_cliente,$clave_cliente);
if($tranret==true){
    $config = XTConfig::singleton();
    $url = $config-
>get('XTSITE_PATH')."index.php?accion=activarcuenta&gkey=$guid_cliente
";
    $asunto = "Registro de Nuevo Usuario CALC-SAT";
    $destinatario = $email_cliente;
    $nombredestinatario =
"$nombres_cliente$nombres_cliente";
Mensaje de activación de la cuenta
    $mensaje = "Se ha creado el registro en eslsietma de Caulcudora
Satelital haga click en el siguiente enlace para activar su cuenta y
validar su correo: <a href='$url'>$url</a>";

Envio e correo de confirmación
    XTMail::Enviar($asunto, $mensaje, $destinatario, $nombredestinatario);

    $datareturn[]=array('estado'=>'OK', 'parametro'=>$cliente-
>last_insert);
    echoarray2json($datareturn);
    }
else{
    $datareturn[]=array('estado'=>'ERROR', 'parametro'=>$rs_front-
>getErrorMensaje());
    echoarray2json($datareturn);
    }
}

```

Método para la activación de la cuenta de usuario

```

publicfunctionactivarcuenta(){
    $rs_front = new frontModel();

    $_REQUEST["AJX_PAGE_TITLE"] = "Activar Cuenta";
    $gkey = XTUutils::Request("gkey");
    $localcliente = $rs_front->GetClienteByKey($gkey);
if(count($localcliente)==null){
echo"No existe el cliente";
    }
else{
        $rs_front->Activar($localcliente["id_cliente"]);
    }
}

```

```

echo"Su cuenta ha sido activada";
    }
}

```

CÓDIGO PARA INTERFACES DE CÁLCULOS

Método para el inicio de los cálculos

```

publicfunctioniniciarcálculos(){
    $_REQUEST["AJX_PAGE_TITLE"] = "Calcular posiciones";
    if(XTUutils::Session("CLI_USRID")==null){
        $data["panel_class"] = "panel-danger";
        $data["titulo"] = "Error";
        $data["informacion"] = "No ha iniciado sesión, si no tiene
una cuenta debe registrarse";
        $this->view->show("error",$data);
    }
    return;
}
$rs_frontend = new frontModel();

```

Llama los datos del factor de corrección

```

$data["listado_factor"] = $rs_frontend->getFactorCorreccion();

```

Llama los datos de los parámetros

```

$data["listado_parametros"] = $rs_frontend->getParametros();
$this->view->show("iniciarcálculos",$data);
}

```

Método para guardar los cálculos

```

publicfunctionguardarcálculos(){
    $rs_frontend = new frontModel();
    $stranret = $rs_frontend->guardarcálculos(XTUutils::AllVars());
    if($stranret==true){
        echo"OK";
    }
    else{
        echo"ERROR";
    }
}

```

Métodos para ver los cálculos del usuario

```

publicfunctionmiscálculos(){
    $_REQUEST["AJX_PAGE_TITLE"] = "Mis Cálculos";
    if(XTUutils::Session("CLI_USRID")==null){
        $data["panel_class"] = "panel-danger";
        $data["titulo"] = "Error";
        $data["informacion"] = "No ha iniciado sesión, si no tiene
una cuenta debe registrarse";
        $this->view->show("error",$data);
    }
    return;
}
$rs_frontend = new frontModel();
$data["listado"] = $rs_frontend-
>calculosbicliente(XTUutils::Session("CLI_USRID"));
$this->view->show("miscálculos",$data);
}

```

Método para ver el cálculo

```

publicfunctionvercálculo(){

```

```

        $_REQUEST["AJX_PAGE_TITLE"] = "Mis Cálculos";
if(XTUtils::Session("CLI_USRID")==null){
            $data["panel_class"] = "panel-danger";
            $data["titulo"] = "Error";
            $data["informacion"] = "No ha iniciado sesión, si no tiene
una cuenta debe registrarse";
            $this->view->show("error",$data);
return;
        }
        $rs_front = new frontModel();
extract(XTUtils::AllVars());
        $data["localfila"] = $rs_front-
>calculo($id_calculo_cliente, XTUtils::Session("CLI_USRID"));
        $this->view->show("vercalculo",$data);
    }

```

Método para eliminar el cálculo

```

publicfunctioneliminarcalculo(){
        $_REQUEST["AJX_PAGE_TITLE"] = "Mis Cálculos";
if(XTUtils::Session("CLI_USRID")==null){
            $data["panel_class"] = "panel-danger";
            $data["titulo"] = "Error";
            $data["informacion"] = "No ha iniciado sesión, si no tiene
una cuenta debe registrarse";
            $this->view->show("error",$data);
return;
        }
        $rs_front = new frontModel();
extract(XTUtils::AllVars());
        $data["localfila"] = $rs_front-
>eliminar($id_calculo_cliente, XTUtils::Session("CLI_USRID"));
//$this->view->show("vercalculo",$data);
?>
<scripttype="text/javascript">
alert("Se ha eliminado el cálculo");
</script>
<?php
        $this->miscalculos();
    }

```

Método para imprimir el cálculo

```

publicfunctionimprimircalculo(){
        $_REQUEST["AJX_PAGE_TITLE"] = "Mis Cálculos";
if(XTUtils::Session("CLI_USRID")==null){
            $data["panel_class"] = "panel-danger";
            $data["titulo"] = "Error";
            $data["informacion"] = "No ha iniciado sesión, si no tiene
una cuenta debe registrarse";
            $this->view->show("error",$data);
return;
        }
        $rs_front = new frontModel();
extract(XTUtils::AllVars());
        $data["localfila"] = $rs_front-
>calculo($id_calculo_cliente, XTUtils::Session("CLI_USRID"));
        $this->view->show("imprimircalculo",$data);
    }

```

CÓDIGO PARA LOS CÁLCULOS

Archivo: app/default/views/iniciarcálculos.php

Recupero los parámetros (constantes)

```
foreach($listado_parametrosas $pfila){
extract($pfila, EXTR_PREFIX_ALL, "param");
    $$param_variable_parametro = $param_valor_parametro;
}
$TIEMPO_CONVERSION = 1000000;
extract($_POST);
```

```
if($var_direccionpos=="E"){
    $ang_s = abs(360-$ang_s);
}

$ang_var_acos = round(
rad2deg(
acos(
    (
round(
round(cos(deg2rad($ang_2)), $presicion)
*
round(cos(deg2rad($ang_s-$ang_1)), $presicion)
, $presicion)
    )
)
)
, 4);

$ang_var_sec_1 = round(
    $r*pow(10, 3)
    -
    $RE*pow(10, 3)
    *
round(cos(deg2rad($ang_2)), $presicion)
    *
round(cos(deg2rad(
abs(
        $ang_s-$ang_1
    )
)), $presicion)
, $presicion);
```

Cálculo del Angulo de Elevación

```
$ang_elevacion = round( rad2deg
(
atan(
    (
        $ang_var_sec_1
    )
    /
    (
```

```

                $RE*pow(10,3)
            *
round(sin( deg2rad($ang_var_acos)
                ), $presicion)
        )
    )
    ), $presicion)
-
$ang_var_acos;

```

Cálculo del Angulo de Azimuth

```

    $alpha = $ang_elevacion;
    $var_ang_beta = $CONST_180
+
round(
rad2deg(atan(
round((
abs(
round(
tan( deg2rad($ang_s - $ang_1))
, $presicion)
        )
    /
round(
cos(deg2rad($ang_2))
, $presicion)
        ), $presicion)
    ))
, $presicion)
;

```

Cálculo de la asistencia

```

    $distancia_ts = round(sqrt(
        (pow(( $RE+$H), 2)
        +
pow($RE, 2))
        -
        (
            (2*$RE* ($RE+$H))
            *
            (
round(
sin(deg2rad( $alpha + round(
round(
rad2deg(asin(
round($RE/($RE+$H), $presicion)
                ))
, $presicion)
                *
round(cos(deg2rad($alpha)), $presicion)
, $presicion)
            )
        )
, $presicion)
    )

```

```

    )
), $presicion);

```

Cálculo del Tiempo de Retardo

```

    $timo_retardo =
round(($distancia_ts/$C)*$TIEMPO_CONVERSION, $presicion);
    $timo_total = round($timo_retardo * 2, $presicion);

    $tmp_fec = explode("/", $fec);
//print_r($tmp_fec);
    $calc_fec = $tmp_fec[0]/$tmp_fec[1];

```

Cálculo del Ancho de Banda

```

    $ancho_banda_port = "0";
if($var_modulacion=="QPSK"){
        $ancho_banda_port = ($vtx/$calc_fec/2)*$CONST_ROLLBACK;
    }
if($var_modulacion=="BPSK"){
        $ancho_banda_port = ($vtx/$calc_fec)*$CONST_ROLLBACK;
    }
if($var_modulacion=="8-PSK"){
        $ancho_banda_port = ($vtx/$calc_fec/3)*$CONST_ROLLBACK;
    }
if($var_modulacion=="16QAM"){
        $ancho_banda_port = ($vtx/$calc_fec/4)*$CONST_ROLLBACK;
    }

```

Cálculo del Angulo del lpu

```

    $lpu = $CONST_LPU+ (20* round(
log10($distancia_ts), $presicion)
+ (20*round(log10($frecuencia_bajada), $presicion));

    $frec = $frecuencia_bajada*pow(10,9);
    $gtx = round(10 * log10(
round(
        $CONST_NX*
round(
    pow(
round(pi()* ($diametro_antena/($C/$frec)), $presicion)
, 2)
, $presicion)
, $presicion)
), $presicion);
    $pire = 10* round( log10($ptx) , $presicion )+$gtx;
    $ganancia = round(20*
round(log10($frecuencia_bajada), $presicion)+21.46, $presicion);
    $lpu = round(92.44 + 20*round(log10($distancia_ts), $presicion)
+ 20* round(log10($frecuencia_bajada), $presicion), $presicion);
    $lu = round(0.0371 + 1.91, $presicion);
    $ld = round(0.0408 + 0.2, $presicion);

    $dfps = round($pire + $MEU + $ganancia - $lpu -
$lu, $presicion);

```

Cálculo del Backoff

```
$boi = round($dfps - $dfps_sat,$presicion);  
$boo = round($boi - $CONST_X_satelite,$presicion);
```

Cálculos para la relación C/T para cada portadora en el enlace ascendente

```
$g_t = 7.1;  
//error de formula  
$c_t_u = $pire - $lpu - $lu - $g_t - $MEU;
```

Cálculos para la relación C/T en el enlace descendente por cada portadora, considerando la relación G/T para la antena más pequeña Utilizada

```
$lp_d = $CONST_LPU + round(20*log10($distancia_ts),$presicion)  
+ round(20*log10($frecuencia_subida),$presicion);  
  
$pire_d = $pire_sat + $boo;  
$g_t_antena = $CONST_GT +  
round(20*log10($frecuencia_bajada/4),$presicion);  
$c_t_d = $pire_d - $lp_d - $ld + $g_t_antena - $MEU;
```

Cálculo de la relación C/T total por portadora

```
$c_t_total =  
pow(  
    (1/  
pow(10,$c_t_d/10)  
    )  
    +  
    (1/  
pow(10,$c_t_u/10)  
    ),-1);  
$c_t_total_db = round(10* log10($c_t_total),4);
```

Cálculo de la relación C/N por portadora

```
$bw_db = round(10 * log10($ancho_banda_port*1000),$presicion);  
$c_n_db = round($c_t_total_db - $bw_db +  
$CONS_C_N_PORTADORA,$presicion);
```

Cálculo de las relación C/No para los enlaces de subida y bajada por cada portadora

```
$c_no_u = $pire - $lpu - $lu + $CONST_G_T_S +  
$CONS_C_N_PORTADORA;  
$c_no_d = $pire_d - $lp_d - $ld + $gtx + $CONS_C_N_PORTADORA;
```

```
$eb_no_u = round($c_no_u - round(10*  
log10($vtx*1000),$presicion),$presicion);
```

ANEXO 4

MANUAL DE USO

MANUAL DE USO

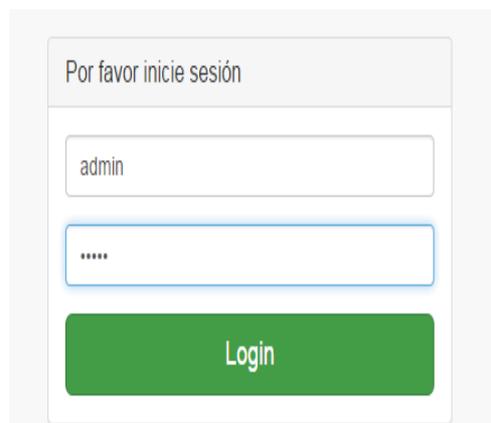
- Administrador

Para el manejo adecuado del sistema debemos realizar el ingreso de datos requeridos como parámetros, para ello realizaremos lo siguiente.

Ingrese a la dirección.

(<http://www.DOMINIO/calculadorasatelite/index.php/administrador>), este se habilitará con un dominio aún no especificado, para lo que se contratará un web hosting.

Dentro de la barra de navegación del navegador web, Firefox o chrome; se desplegará una ventana de ingreso de datos, como es el Usuario y el password



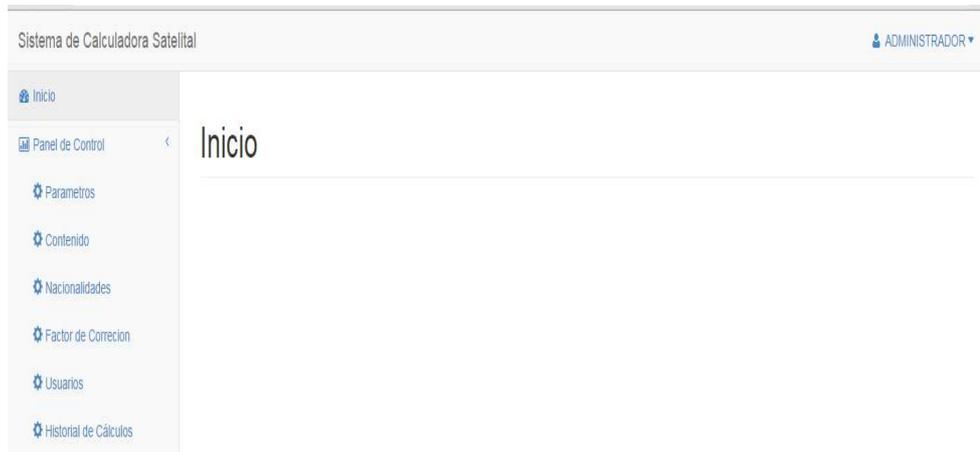
Por favor inicie sesión

admin

Login

Img1. Inicio de sesión

Luego de haber ingresado los datos correctos nos desplegará la siguiente ventana.



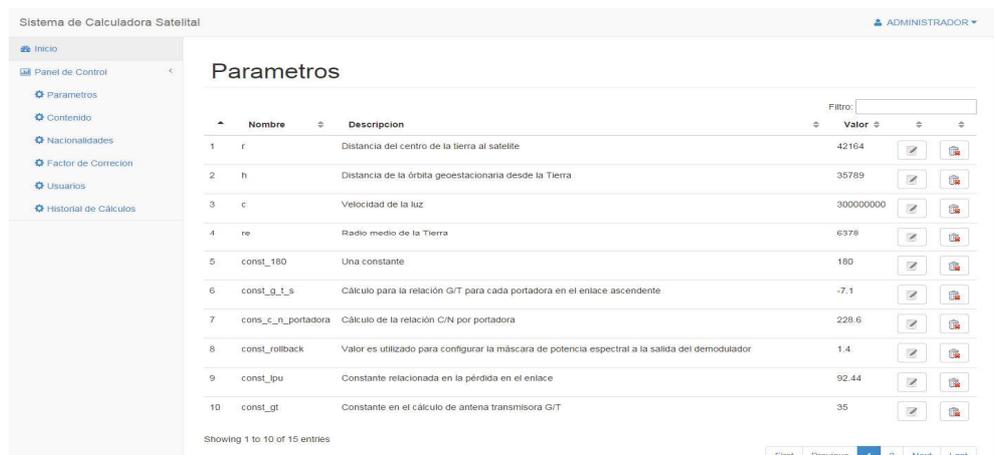
Img2. Interfaz del administrador

Aquí el usuario administrador podrá hacer el ingreso de datos como son:

Parámetros.- los parámetros, son datos que servirán para la realización de cálculos futuros.

Para la edición de los parámetros debemos hacer clic en el botón parámetros

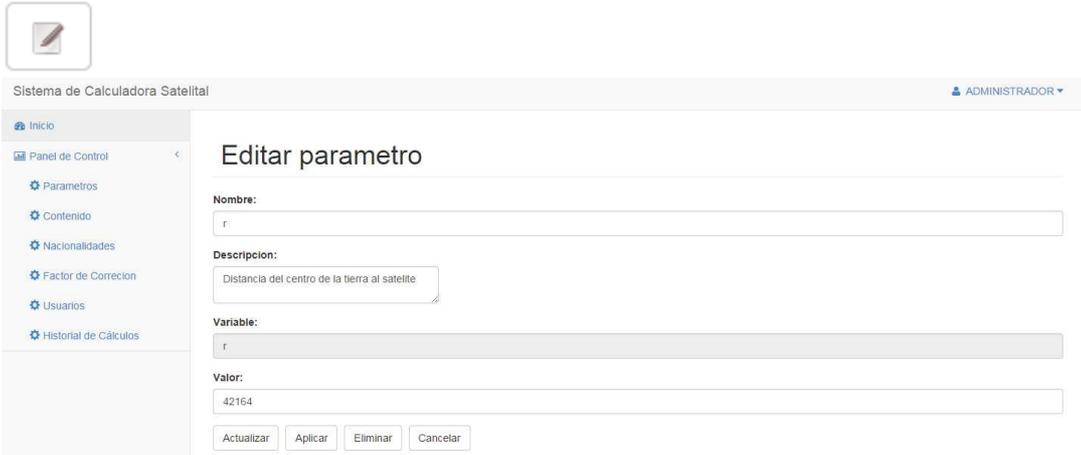
 , se desplegará la siguiente interfaz.



	Nombre	Descripcion	Valor		
1	r	Distancia del centro de la tierra al satellite	42164		
2	h	Distancia de la órbita geostacionaria desde la Tierra	35789		
3	c	Velocidad de la luz	300000000		
4	re	Radio medio de la Tierra	6378		
5	const_180	Una constante	180		
6	const_g_t_s	Cálculo para la relación G/T para cada portadora en el enlace ascendente	-7.1		
7	cons_c_n_portadora	Cálculo de la relación C/N por portadora	228.6		
8	const_rolloback	Valor es utilizado para configurar la máscara de potencia espectral a la salida del demodulador	1.4		
9	const_lpu	Constante relacionada en la pérdida en el enlace	92.44		
10	const_gt	Constante en el cálculo de antena transmisora G/T	35		

Img3. Interfaz de manipulación de parámetros

En caso de modificación de estos valores hacemos clic en el icono se desplegará la siguiente interfaz.



Img4. Interfaz de modificación de parámetros

Pulsar en el botón Actualizar para guardar los cambios, en Cancelar para no aplicar cambios.

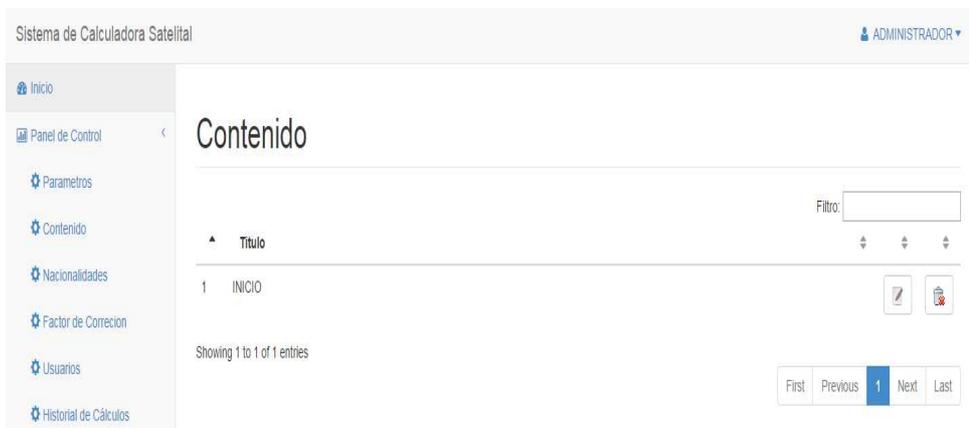
En caso de eliminación de algún parámetro hacer clic en el icono



Si deseamos realizar una búsqueda, ingrese palabra clave a buscar en el



Contenidos.- los contenidos son referentes a la información de la interfaz que aparecerá en el frontend (Vista de usuario).



Img5. Interfaz de edición de contenidos

Del mismo modo que la modificación de parámetros podemos hacerlo en esta sección, haciendo clic en el botón  seguidamente en el icono de edición 



Img6.- Interfaz de modificación de contenidos

Como podemos observar tenemos varias herramientas que nos permiten el ingreso de imágenes y de texto personalizado. Una vez realizada la edición pulsar en el botón **Actualizar**. Clic en **Cancelar** para no realizar cambios.



Img7. Interfaz del frontend

Nacionalidad.- permite el ingreso de distintas nacionalidades para los datos de

los usuarios que inicien sesión por primera vez.

Pulse el botón **Nuevo** para el ingreso de nuevas nacionalidades.

The screenshot shows the 'Agregar nacionalidad' form. At the top, it says 'Sistema de Calculadora Satelital' and 'ADMINISTRADOR'. On the left is a sidebar with 'Inicio', 'Panel de Control', 'Parametros', 'Contenido', 'Nacionalidades', and 'Factor de Correccion'. The main area has the title 'Agregar nacionalidad'. Below it is a 'Nombre:' label and a text input field containing 'REQUERIDO'. At the bottom are 'Guardar' and 'Cancelar' buttons.

Img8. Interfaz de ingreso de nueva nacionalidad

Pulse el botón **Guardar** para agregar los cambios.

The screenshot shows the 'Nacionalidades' list view. At the top, it says 'Sistema de Calculadora Satelital' and 'ADMINISTRADOR'. On the left is a sidebar with 'Inicio', 'Panel de Control', 'Parametros', 'Contenido', 'Nacionalidades', 'Factor de Correccion', 'Usuarios', and 'Historial de Cálculos'. The main area has the title 'Nacionalidades'. Below it is a '+ Nuevo' button and a 'Filtro:' input field. A table with one entry is shown: '1 ECUATORIANA'. To the right of the entry are edit and delete icons. Below the table is 'Showing 1 to 1 of 1 entries' and a pagination control with 'First', 'Previous', '1', 'Next', and 'Last' buttons.

Img9. Interfaz de modificación nacionalidades.

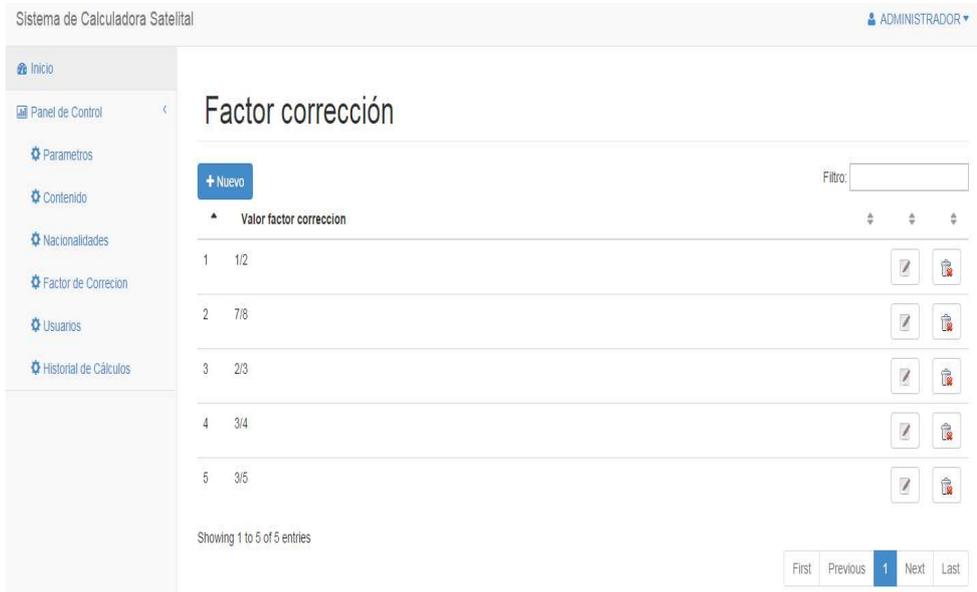
De igual manera podemos editar la información haciendo clic en el icono 

o para la eliminación de datos hacemos clic en el icono  eliminar.

The screenshot shows the 'Editar nacionalidad' form. At the top, it says 'Sistema de Calculadora Satelital' and 'ADMINISTRADOR'. On the left is a sidebar with 'Inicio', 'Panel de Control', 'Parametros', 'Contenido', 'Nacionalidades', 'Factor de Correccion', and 'Usuarios'. The main area has the title 'Editar nacionalidad'. Below it is a 'Nombre:' label and a text input field containing 'ECUATORIANA'. At the bottom are 'Actualizar', 'Aplicar', 'Eliminar', and 'Cancelar' buttons.

Img9. Interfaz de actualización de nacionalidades

Factor de corrección.- Permiten actualizar los datos relacionados con los cálculos de valores que dependen del equipo que se utilice.



Img10. Interfaz de corrección de Datos

Usuarios.- podemos administrar los datos del listado de usuarios registrados al sistema, los cuales podrán realizar cálculos referentes al satélite.

De la misma forma podemos eliminar y editar haciendo clic en los iconos



Así también realizar un filtrado de datos ingresando la palabra clave en el casillero de filtro.



Sistema de Calculadora Satelital ADMINISTRADOR

Inicio

Panel de Control

- Parametros
- Contenido
- Nacionalidades
- Factor de Corrección
- Usuarios
- Historial de Cálculos

Usuarios

Filtro:

	Apellidos	Nombres	Email	Creación	Estado		
1	TRTERT	RTRET	alter@alter.com	2014-11-01	ACTIVO		
2	CASTRO ANDRADE	PATRICIO	pato_c_6@hotmail.com	2014-11-01	ACTIVO		
3	GARZON	VICTOR	victor.garzon27@hotmail.com	2014-11-09	ACTIVO		
4	VALENCIA	JUAN	gerencia@ecuatorial.com	2014-11-09	ACTIVO		
5	VILLARREAL	ANA	ani_lu_19@hotmail.com		ACTIVO		

Showing 1 to 5 of 5 entries

First Previous 1 Next Last

Img11. Interfaz del listado de usuarios registrados en el sistema

Historial.- hacemos clic en el botón **Historial** en el menú, permite visualizar toda la lista de todos los cálculos realizados por los usuarios, además se puede eliminar y ver los cálculos, como se nota en la interfaz.

Sistema de Calculadora Satelital ADMINISTRADOR

Inicio

Panel de Control

- Parametros
- Contenido
- Nacionalidades
- Factor de Corrección
- Usuarios
- Historial de Cálculos

Historial de cálculos

Filtro:

	Usuario	Cliente	Fecha	Presión	Ang. elevacion	Azimuth		
1	JUAN VALENCIA	AEOROGAL	2014-11-15 01:36:35	4	48.5002	215.7388	Ver	Eliminar
2	JUAN VALENCIA	AEOROGAL	2014-11-15 01:37:27	4	48.5002	215.7388	Ver	Eliminar
3	JUAN VALENCIA	AEOROGAL	2014-11-15 01:38:06	4	48.5002	215.7388	Ver	Eliminar
4	JUAN VALENCIA	AEOROGAL	2014-11-15 01:38:29	4	48.5002	215.7388	Ver	Eliminar
5	JUAN VALENCIA	AEOROGAL	2014-11-15 01:42:20	4	48.5002	215.7388	Ver	Eliminar
6	JUAN VALENCIA	POLICIA NACIONAL	2014-11-16 10:24:30	4	48.5002	215.7388	Ver	Eliminar
7	ANA VILLARREAL	CORPORACION A	2014-11-15 03:35:22	4	48.1582	216.0097	Ver	Eliminar
8	ANA VILLARREAL	CORPORACION A	2014-11-15 03:44:47	4	48.1582	216.0097	Ver	Eliminar
9	ANA VILLARREAL	CORPORACION A	2014-11-15 03:58:09	4	51.3038	213.2208	Ver	Eliminar
10	ANA VILLARREAL	CORPORACION A	2014-11-15 04:27:39	4	48.1582	216.0097	Ver	Eliminar

Showing 1 to 10 of 13 entries

Img13. Interfaz de historiales de cálculos

- **Usuario**

Para los cálculos de posicionamiento de satélite y de posición de estación terrena lo podemos hacer mediante el ingreso como usuario del sistema mediante el registro en la página web (<http://www.DOMINIO/calculadorasatelite/index.php>) en la siguiente interfaz.



Img14. Interfaz de registro de usuarios.

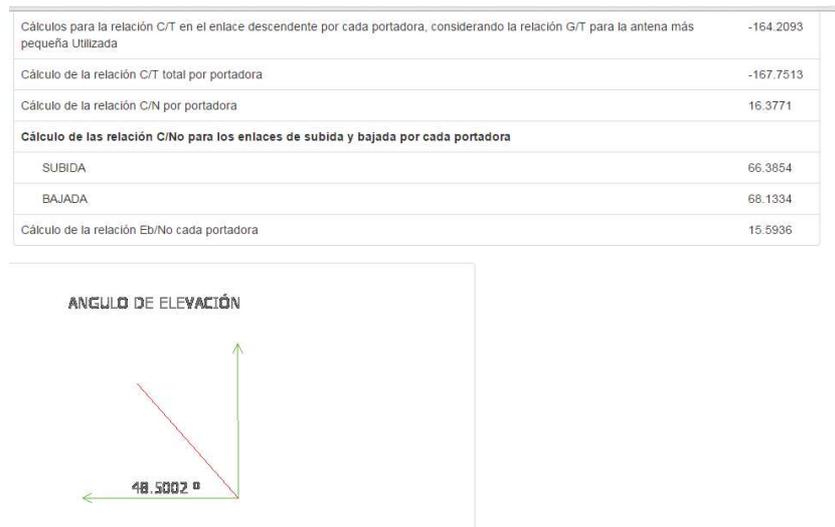
Para el registro haz clic en el enlace **Regístrate!**, luego ingresa los datos requeridos.



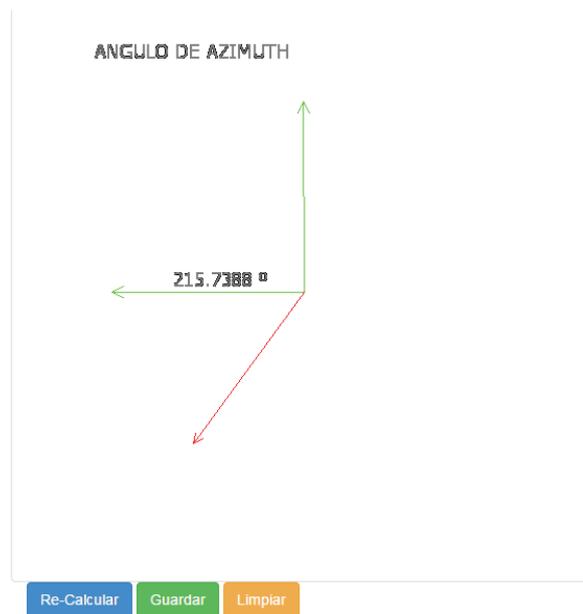
Img13. Interfaz de usuario registrado

Hacemos clic en el botón **Calculadora** para el ingreso de todos los parámetros necesarios para la realización de los cálculos; una vez terminado el ingreso de datos requeridos pulsamos en el botón calcular.

Los resultados se visualizan conjuntamente con la gráfica



Img14. Interfaz de salida de datos



Img15. Interfaz de salida de datos

Pulsar el botón **Re-Calcular** para obtener cálculos con otra precisión, pulsa **guardar** para guardar tus valores calculados, limpiar para volver hacer un nuevo cálculo.

Para impresión de datos hacer clic en el menú en el botón [Mis Cálculos](#) luego en la lista que se despliega hacer clic en el botón **Ver**, permitirá imprimir en formato pdf. Además permite eliminar el reporte en caso de requerirlo

PARÁMETROS DEL CÁLCULO	
Presición	4
Modulación	QPSK
Angulo de Posición del Satellite	45 O
Longitud de la estación terrena	80.73 N
Latitud de la estación terrena	1.464
PTX	5
VTX(Velocidad de Transmisión)	120
Factor de Corrección de errores	3/4
Frecuencia de Bajada	6
Frecuencia de Subida	4
Diametro de Antena	1.8

RESULTADOS	
Ángulo de elevación de la antena	48.5002°
Azimuth	215.7388°
Distancia estación terrena y satélite	37177.0863 km
Tiempo de Retardo	123.9236 ms
Tiempo Total	247.8472 ms
Ancho de Banda	112 khz
Pérdida	199.41 dB
Cálculo de la DFPs para la estación	-115.0786
Cálculo del Backoff Entrada	-42.0786 dBW
Cálculo del Backoff Salida	-47.0786 dBW
Cálculos para la relación C/T para cada portadora en el enlace ascendente	-165.2026
Cálculos para la relación C/T en el enlace descendente por cada portadora, considerando la relación G/T	-164.1843 dBW/K
Cálculo de la relación C/I total por portadora	-167.7335 dB/K
Cálculo de la relación C/N por portadora	10.3743 dB
Cálculo de las relación C/No para los enlaces de subida y bajada por cada portadora	
SUBIDA	66.3974 dB

Img16. Interfaz de salida de datos a impresión