



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

ESCUELA SUPERIOR DE TIZAYUCA

T E S I S

**Interfaz gráfica en Labview para la simulación del cálculo de
un enlace satelital**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

P R E S E N T A:

HUGO CÉSAR SÁNCHEZ CÁRDENAS.

ASESORES:

M. EN C. JUAN CARLOS GONZÁLEZ ISLAS

ING. EDUARDO GARCÍA FLORES

Octubre del 2012



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
ESCUELA SUPERIOR DE TIZAYUCA, ESTi

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES, IET



IET/ESTi/203/2012

C. HUGO CÉSAR SÁNCHEZ CÁRDENAS
EGRESADO DEL PROGRAMA EDUCATIVO DE
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
ESTi-UAEH
PRESENTE

A través de este medio nos permitimos comunicarle que una vez leído y analizado su trabajo titulado: **"Interfaz gráfica en Labview para la simulación del cálculo de un Enlace Satelital"**, que presenta Ud. para optar al Título de Licenciatura en Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones; los integrantes del Jurado consideramos que tiene las características e incluye los elementos necesarios para ser presentado para su defensa ante los sinodales.

Por lo anterior, puede proceder a imprimir su trabajo de titulación y proseguir con los trámites correspondientes.

A TESTAMENTO
"AMOR, ORDEN Y PROGRESO"
TIZAYUCA, HIDALGO A 03 DE SEPTIEMBRE DE 2012

M. EN C. JUAN CARLOS GONZÁLEZ ISLAS
DIRECTOR DE TESIS

M. EN C. JOSÉ CARLOS QUEZADA QUEZADA
SINODAL

DR. ERNESTO FLORES GARCÍA
SINODAL

ING. JORGE BAUTISTA LÓPEZ
SINODAL

ING. LEOBARDO TRUJILLO VIEYRA
SINODAL

ING. HUGO RUIZ GONZÁLEZ
SUPLENTE

M. EN C. ALONSO SOLÍS GALINDO
SUPLENTE

Agradecimientos

A la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo por ser mi casa de estudios, por la oportunidad al abrirme las puertas de sus aulas, portando con orgullo el escudo de mi institución, por la formación que me dió al transmitirme los conocimientos que hicieron de mí un profesionista.

A mis profesores en general, por corregir mis errores, ayudarme a ver los problemas que vendrán antes de realizar algo, por inspirarme a construir, diseñar, analizar, resolver, plantear, crear en el transcurso de mi profesión, por la amistad, los consejos y confiar siempre en mí y en mi capacidad, se los agradezco enormemente.

A mis sinodales por enriquecer este trabajo, fruto de nuestro esfuerzo, gracias por su apoyo mostrado.

A los Ingenieros Eduardo García y Juan Carlos González, por su gran apoyo, tiempo, recursos e impartirme de sus conocimientos, porque sin su apoyo este trabajo no hubiera sido el mismo. Muchas Gracias.

Al personal de Telecomm por compartirme de sus experiencias, conocimientos y aportaciones en esta tesis. Gracias a todo el personal que hizo posible el abrirme las puertas de la empresa (Telecomm), por facilitarme su equipo de radiocomunicación e instrumentación.

Resumen

La siguiente tesis presenta el desarrollo de una interfaz gráfica que permite saber por medio de los cálculos de un enlace satelital si la información transmitida llegará correctamente a la unidad receptora con los parámetros de transmisión adecuados, conociendo todas las pérdidas que se generan hasta su destino, evaluando si existe una señal con los parámetros necesarios o se tienen pérdidas en el enlace y por lo tanto la transmisión presentará deficiencias.

Para poder manipular la interfaz gráfica se necesita comprender qué parámetros se deben variar y si éstos se reflejarán en mayor ganancia o atenuación en el enlace satelital. Es por ello que en este trabajo de investigación se presentan los conceptos y la formulación matemática de parámetros de las estaciones terrenas, ya que existen factores de gran importancia que se deben cuidar, como la potencia de transmisión, la frecuencia a la que se trabaja, tener las antenas bien orientadas y entre otros aspectos más; ya que si no se cuidan con exactitud, los propietarios del satélite negarán el acceso porque se dañaría el equipo de radiocomunicación, teniendo como consecuencia pérdidas económicas y sobre todo desperdicio de tiempo.

Así mismo, se desarrollan dos enlaces satelitales prácticos con los equipos de la empresa telecomm, para poder saber qué tan confiables son los valores de salida de la interfaz gráfica.

Abstract

This dissertation presents the development of a graphical interface that allows to know the calculations through a satellite link will if the information transmitted to the receiving unit correctly with appropriate transmission parameters, knowing all the losses generated to your destination, assessing whether a signal with the necessary parameters have losses or the link and therefore the present transmission deficiencies.

To manipulate the graphical interface is needed to understand which parameters should vary and if these will be reflected in higher gain or attenuation in the satellite link. That is why in this research presents the concepts and mathematical formulation parameters of the earth stations, as there are important factors that should take care, as the transmit power, the frequency at which you work , have well-targeted antennas and between other aspects, because if not exactly care, satellite owners refused access because it will damage the radio equipment, having consequently economic losses and waste of time especially.

Also, we develop two practical satellite links with Telecomm company equipment in order to know how reliable are the output values of the Graphical Interface.

Índice general

Agradecimientos	I
Resumen	II
Abstract	IV
Introducción	XIII
Justificación	XIV
Objetivos	XVI
Planteamiento del problema	XVIII
Alcance del trabajo	XX
Estructura de Tesis	XXII
1. Estructura de la Comunicación Satelital	1
1.1. Introducción	1
1.2. Los Satélites	1
1.2.1. Historia de los Satélites	1
1.2.2. Tipos de Satélites	2
1.2.3. Órbitas Satelitales	3
1.2.4. Ventajas y Desventajas de los Satélites, contra Fibra Óptica.	5
1.3. Estaciones Satelitales	6
1.3.1. Antenas Parabólicas	9
1.3.2. Rastreo del Satélite	15
1.3.3. El Transmisor	16
1.3.4. El Receptor	17
1.4. Métodos de Acceso al Medio	17
1.5. Conclusiones	20
2. Cálculos de un Enlace Satelital	21
2.1. Introducción	21
2.2. Cálculos del Enlace de RF	22

2.3.	Ángulos de Elevación y Azimut	22
2.4.	Distancia Entre la ET y el Satélite	23
2.5.	Tiempo de Retardo de la Señal	24
2.6.	Ganancia y Ancho de Haz de la Antena	24
2.7.	Atenuación por Espacio Libre	25
2.8.	Atenuación por Absorción Atmosférica	26
2.9.	Pérdida por Desapuntamiento	27
2.10.	Potencia Isotrópica Radiada Efectiva	27
2.11.	Atenuación por Lluvia	28
2.12.	Canal a Ruido	28
2.13.	Conclusiones	30
3.	Interfaz Gráfica para el Cálculo de un Enlace Satelital	31
3.1.	Introducción	31
3.2.	Software LabVIEW	31
3.3.	Aplicaciones de LabVIEW	32
3.4.	Estructura de los Paneles de LabVIEW	32
3.4.1.	Panel Frontal	32
3.4.2.	Diagrama de Bloques	33
3.4.3.	Paletas	34
3.5.	Desarrollo de la Interfaz Gráfica	34
3.5.1.	Algoritmo del Cálculo para un Enlace Satelital	40
3.5.2.	Diagrama de Flujo	40
3.6.	Conclusiones	45
4.	Enlace Satelital Práctico	47
4.1.	Introducción	47
4.2.	Equipos para el Enlace	47
4.2.1.	Equipos para Transmitir al Satélite	47
4.2.2.	Equipo de Recepción Satelital	48
4.3.	Conexión de Equipos	49
4.4.	Desarrollo del Enlace	49
4.5.	Enlaces Prácticos Desarrollados por la Empresa Telecomm	52
4.6.	Conclusiones	55
5.	Conclusiones	57
5.1.	Introducción	57
5.2.	Comparación de Resultados	58
5.3.	Análisis	59
5.4.	Conclusiones	59
5.5.	Trabajo Futuro	60
	Bibliografía	61

Índice de figuras

1.	Diagrama a bloques de las causas del problema	XIX
1.1.	Diagrama de distribución de 3 satélites comunicando toda la tierra, Teoría de Arthur Clarke	2
1.2.	Niveles de órbitas satelitales	4
1.3.	Representación de una estación terrena fija	6
1.4.	Representación de una estación terrena móvil	7
1.5.	Diagrama a bloques de una estación satelital de tráfico internacional .	8
1.6.	Representación de lóbulos según la ganancia de la antena.	9
1.7.	Antena parabólica foco centrado	10
1.8.	Antena parabólica offset	11
1.9.	Antena parabólica Cassegrain	11
1.10.	Antena parabólica plana	12
1.11.	Patrón de radiación con todos sus lóbulos	12
1.12.	Ganancia de acuerdo al tipo de antena	13
1.13.	Orientación en grados de azimut.	13
1.14.	Orientación en grados de elevación.	14
1.15.	Orientación del polarizador para tener una mejor ganancia.	14
1.16.	Ejemplo de una frecuencia continua como faro al satélite	15
1.17.	Diagrama a bloques de un transmisor satelital	16
1.18.	Diagrama a bloques de un receptor satelital	17
1.19.	Tipos de multiplexación	18
1.20.	Interconexión satelital mundial	19
2.1.	Clasificación de un enlace satelital	21
2.2.	Representación de la estación terrena de acuerdo al cuadrante con respecto al satélite	23
3.1.	1 sección del diagrama a bloques del la Interfaz	33
3.2.	Interfaz gráfica para los calcular un enlace satelital	35
3.3.	Datos de entrada con respecto a la estación transmisora	36
3.4.	Datos para seleccionar las características del satélite a interconectar .	37
3.5.	Datos de entrada con respecto a la estación receptora	38
3.6.	Datos de salida de la interfaz grafica, parámetros y atenuaciones . . .	39
3.7.	Valor de C/N como resultado del enlace satelital	39

3.8. Diagrama de flujo para la programación de la interfaz grafica.	41
3.9. Segunda parte del diagrama de flujo para la programación de la interfaz grafica.	42
3.10. Tercera parte del diagrama de flujo para la programación de la interfaz grafica.	43
3.11. Finalización del diagrama de flujo para la programación de la interfaz grafica.	44
4.1. Diagrama ilustrado de los equipos para desarrollar un enlace satelital completo.	49
4.2. Diagrama de flujo del proceso para tener un enleace exitoso	50
4.3. Continuacion del diagrama de flujo del proceso para tener un enleace exitoso	51
4.4. Enlace satelital en la banda de frecuencias C y con el satélite Satmex V.	53
4.5. Enlace satelital en la banda de frecuencias Ku y con el satélite Satmex VI.	54

Índice de tablas

1.	Parametros que conforman la Interfaz Grafica	XXI
2.1.	Bandas de Frecuencias Satelitales	26
3.1.	Algoritmo para Calcular el valor de la C/N de un enlace satelital . .	40
5.1.	Enlace satelital en Banda C, enlazado al satélite Satmex V.	58
5.2.	Enlace satelital en Banda Ku, enlazado al satélite Satmex VI.	58

Introducción

La comunicación satelital ha modificado en gran medida la forma de vida de la sociedad y quizá de toda la población del mundo, ya sea de forma directa o indirecta. La cual permite conocer los recursos naturales de nuestro planeta, fenómenos meteorológicos, ubicaciones sobre el planisferio e intercambio de información (voz, video o datos) entre ciudades sin necesidad de algún otro sistema de telecomunicaciones. Solo se emplea el equipo de transmisión para enviar la información al satélite, y este la envíe de regreso, con la finalidad que en cualquier lugar el receptor la pueda recibir.

La implementación de un enlace satelital es de gran importancia, ya que representa rapidez, confiabilidad y privacidad, no importando la posición, aún en el caso de estar en el desierto o a bordo de una embarcación en alta mar, se puede transmitir y recibir información de cualquier tipo. Dentro de las aplicaciones más usuales son, realizar reuniones de trabajo, teleconferencias, actualizaciones de bases de datos en zonas urbanas y rurales, diagnósticos médicos a cientos o miles de kilómetros de distancia, realizar transacciones bancarias, consultar y actualizar bancos de datos de computadoras y muchas cosas más que contribuyen a la dinámica de la sociedad moderna.

Para poder emplear de una forma confiable y rápida estas aplicaciones se implementan interfaces virtuales, donde por medio de un ordenador el usuario puede introducir los parámetros variables de acuerdo con cada caso. Este tipo de sistemas se conocen como una interfaz gráfica y son empleados en sistemas de medición, como monitoreo de procesos y aplicaciones de control; un ejemplo de esto pueden ser sistemas de monitoreo en transportación, procesos de control industrial, procesamiento digital de señales, procesamiento en tiempo real de aplicaciones biomédicas, manipulación por imágenes y audio, automatización, diseño de filtros digitales, generador de señales, entre muchas más.

Los ingenieros diseñan interfaces gráficas con el fin de reducir tiempos de operación, a través de software de programación. Para este trabajo se implementa una Interfaz Gráfica que permite conocer la calidad de la señal desde el transmisor hasta el receptor, viajando alrededor de 72000 km. De esta forma se puede garantizar que la orientación de la antena será la adecuada para después poder considerar los demás parámetros de transmisión de forma correcta, de lo contrario se pueden variar los datos de entrada, hasta conocer el valor con la mejor calidad en la señal.

Justificación

Se adoptó el tema de comunicación satelital por el gran impacto que ha tenido sobre la economía de cada país; gracias a su evolución, cada vez se comercializa teniendo mejores ganancias económicas, creando así un mercado mundial; pero para poder crear este mercado y que éste funcione a su máxima potencia, es necesario que la transmisión de información de un lugar a otro sea rápida, confiable y constante; es así que los medios de información son los que permiten esta dinámica globalizada, y es por ello que cada vez se invierte más en el desarrollo de este tipo de tecnología satelital.

Para poder emplear un enlace satelital se tiene que realizar un proceso de cálculos matemáticos determinando si la señal llegará con los parámetros requeridos a su destino. Si al final no se obtiene el valor adecuado es necesario volver a realizar dicho cálculo con parámetros diferentes. Los propietarios del satélite venden el cálculo del enlace; por cuestiones de tiempo, conocimiento y desarrollo tecnológico muchas veces se compra.

Es por esta razón que se propone el desarrollo de una interfaz gráfica la cual permite variar los parámetros reales de forma simulada, tomando en cuenta todos los cálculos para un enlace satelital, logrando detectar los valores que representan mayor ganancia en el sistema, y no solo eso, también se conocerán las pérdidas del receptor; esto al final representa reducción de costos y tiempo. Dicha interfaz se desarrolla en labVIEW, ya que es un software que se aplica a nivel industrial de forma confiable por la gran variedad de elementos que lo conforman, además que permite una fácil integración con tarjetas de adquisición y procesamiento de datos por medio del puerto serial. Para poder avalar los valores de salida de la interfaz se pone a prueba con enlaces satelitales reales, de esta manera se podrá saber qué tan cercano está a la realidad, para implementar la interfaz gráfica a nivel industrial.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar una interfaz gráfica a través de un instrumento virtual desarrollado en LabVIEW, para determinar de manera previa los parámetros de un enlace satelital y realizar una comparativa con los parámetros del mismo enlace.

Objetivos específicos

- Conocer los parámetros de un enlace satelital por medio de la teoría en Comunicaciones satelitales, para que el usuario manipule de forma correcta la interfaz gráfica.
- Crear la interfaz de forma atractiva y eficiente, mostrando solo los datos de salida y clasificando los datos de entrada (transmision recepcion), para que el usuario trabaje de forma rápida.
- Diseñar una interfaz gráfica a través de labVIEW que permita conocer si llegara la señal hasta el receptor de forma correcta.
- Cotejar los valores de salida de la interfaz con los equipos industriales para asegurarse que los datos de salida son confiables.

Nota: Los datos de entrada y salida se especifican en la tabla “Alcance del trabajo”.

Planteamiento del Problema

Existe información que se quiere llevar, o ver, sin importar la distancia, coordenadas de ubicación, cualquier superficie, aspectos climatológicos, e incluso si no se cuenta con ningún otro sistema de comunicación. Un enlace satelital puede operar bajo estos aspectos. Cuando por alguna razón el enlace no cumple con los resultados requeridos no se establece una comunicación con el satélite.

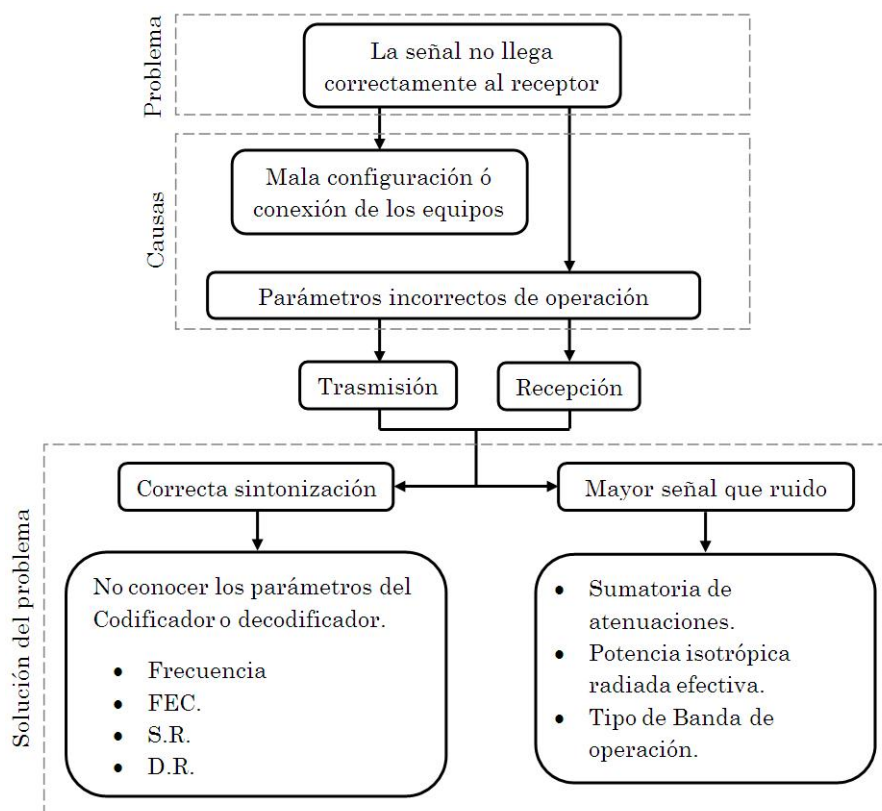


Fig. 1: Diagrama a bloques de las causas del problema

Con el diseño de una interfaz grafica, donde se programan todos los parámetros con su respectivo cálculo dentro del enlace satelital y los valores para la codificación, se puede conocer el resultado del sistema donde si existe mayor ruido que señal el decodificador marcara error de lo contrario podrá realizar su tarea y mostrar la señal de transmisión.

Alcance del trabajo

Se desarrolla una interfaz gráfica en LabVIEW con la finalidad que se conozcan los datos de salida para un enlace satelital. Considerando y obteniendo los siguientes datos.

Datos de Entrada	Tx	Rx	Datos de Salida Tx-Rx
Latitud	X	X	Azimut
Longitud	X	X	Elevación
Altitud	X	X	Rango
Potencia	X		Latencia
Diámetro de Antena	X	X	Ganancia
Frecuencia	X		Ancho de Haz
Satélite			Pire
Banda de Frecuencia			LT
Intensidad de Lluvia	X	X	C/N
FEC	X		BW
S.R.	X		D.R.

Tabla 1: Parametros que conforman la Interfaz Grafica

La interfaz gráfica realiza todo el cálculo de un enlace satelital mostrando los valores de salida descritos en la tabla anterior. Los límites de la interfaz son de la salida de la antena transmisora, hasta el receptor de la antena. El valor de C/N es el resultado de todo el cálculo satelital, el cual determina que tan aceptable es la comunicación satelital o si los parámetros son inapropiados. Existen dos parámetros que la interfaz no calcula, Eb/N (donde el decodificador lo obtiene por un algoritmo matemático) y la asignación de frecuencia (que solo se puede conocer en la práctica). En el último capítulo se realiza la comparación de la interfaz gráfica con un enlace real, para conocer el margen de error de dicha interfaz gráfica.

Estructura de Tesis

Esta Tesis está dividida en cinco capítulos, a continuación se da una pequeña explicación del contenido de cada capítulo:

Capítulo 1: Está basado en la teoría con respecto a la estructura, características y técnicas de la comunicación satelital. De forma general se tratan los conceptos y funcionamiento de los satélites, para una mayor comprensión del sistema de describe de forma específica el funcionamiento de las estaciones terrenas tanto transmisora como receptora.

Capítulo 2: Se describe el modelo matemático para la implementación de un enlace satelital, así como la finalidad por la que se considera cada ecuación matemática, de esta manera se puede conocer que parámetros afectaran el sistema de recepción y cuales hay que cuidar para lograr transmitir lo deseado.

Capítulo 3: En este capítulo se aplican las ecuaciones del capítulo anterior en una interfaz gráfica que permitirá calcular un enlace satelital desde el transmisor hasta el receptor, de igual manera se introduce el diagrama de flujo de programación de la dicha interfaz, así como una breve descripción de la estructura y el funcionamiento de LabVIEW.

Capítulo 4: Se describe el proceso para realizar un enlace satelital. La interconexión completa desde el transmisor y receptor entre equipos y se realiza un enlace satelital con equipo de Telecomm para poder comparar y conocer que tan cerca está la interfaz gráfica a nivel industrial.

Capítulo 5: En este capítulo se realiza la comparación de resultados de la interfaz gráfica y el enlace satelital real, de esta manera se conoce el margen de error de la interfaz gráfica, además del análisis detallado en cada parámetro y las conclusiones finales de la tesis.

Capítulo 1

Estructura de la Comunicación Satelital

1.1. Introducción

En este capítulo se estudia de forma teórica la estructura de un enlace satelital, donde el satélite será un repetidor espacial y las estaciones terrenas transmiten o reciben la información. Una estación terrena consiste en una serie de equipos interconectados, de los cuales el más representativo es su antena o reflector parabólico Tx o Rx¹. El término “Estación Terrena” es utilizado indistintamente para indicar todo equipo terminal que se comunica desde la tierra con un satélite, sin importar si esta fijo, o si está instalado en un barco, avión, o cualquier vehículo terrestre, cada uno transmitiendo o recibiendo información diferente, ya sea de voz, datos o video.

1.2. Los Satélites

1.2.1. Historia de los Satélites

El uso de los satélites de comunicaciones es relativamente reciente, ya que no tiene más 60 años que se puso en órbita el primer satélite de comunicaciones. La primera referencia la externo el escritor británico de ciencia ficción Arthur C. Clarke en octubre de 1945, en la revista británica “Wireless World”², publicó su propuesta de un sistema de comunicación global utilizando estaciones espaciales hechas por el hombre.

Esta propuesta es, un satélite artificial a una distancia apropiada de la tierra puede hacer una revolución en 24 hrs, esto es, podría parecer estacionario sobre un punto de la superficie de la Tierra, y tendría un rango óptico de casi la mitad de la superficie terrestre. En concreto tres satelites, con una separación de 120° entre sí, pueden

¹Tx:Estación Transmisora Rx:Estación Receptora

²Revista científica apartado Extra Terrestrial Relays

dar cobertura de señales de radio y microondas a todo el planeta como se muestra en la siguiente figura.

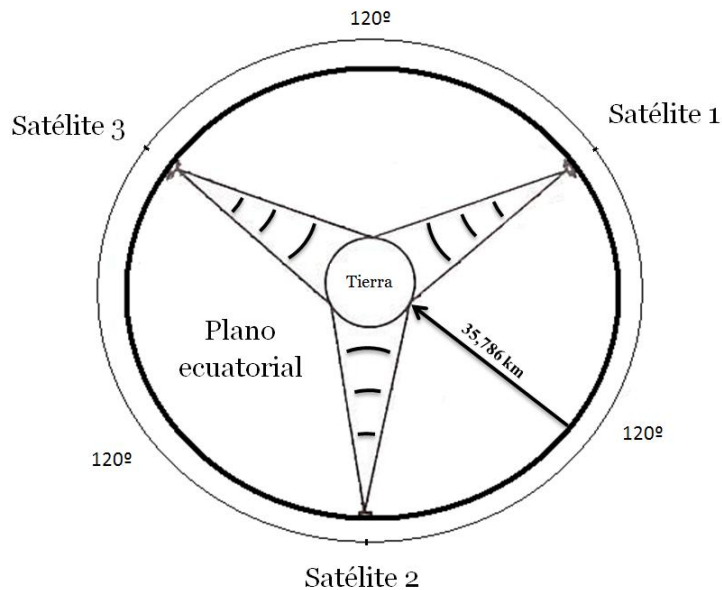


Fig. 1.1: Diagrama de distribución de 3 satélites comunicando toda la tierra, Teoría de Arthur Clarke

Esta idea comenzó a transformarse en realidad con el desarrollo del primer satélite artificial SPUTNIK1 (Compañero de viaje en ruso), que fue lanzado el 4 de octubre de 1957 en una órbita elíptica de baja altura. Este satélite sólo emitía un tono intermitente, y estuvo en funcionamiento durante 21 días, marcando así el inicio de la era de las comunicaciones vía satélite.

El resto es historia reciente y en la actualidad hay satélites artificiales de comunicaciones, navegación, militares, meteorológicos, de estudio de recursos terrestres, científicos, localizadores, etc. Cientos de ellos operativos en distintas órbitas.

1.2.2. Tipos de Satélites

Existen dos tipos de satélites de comunicaciones:

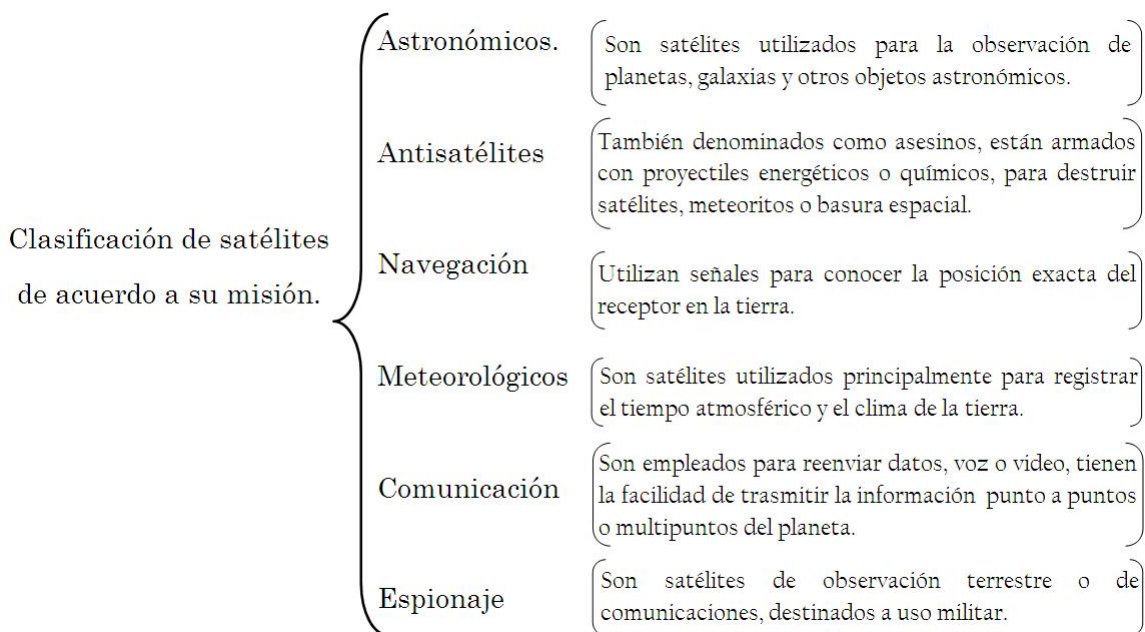
- Satélites pasivos.

Están limitados, solo reflejan la señal recibida sin llevar a cabo ninguna otra tarea.

- Satélites activos.

Amplifican las señales que reciben antes de transmitir las hacia la Tierra. Son los más empleados.

También podemos clasificar al satélite de acuerdo a la razón por la que fue puesto en órbita. El siguiente mapa conceptual se clasifican los satelites de acuerdo a la razón



1.2.3. Órbitas Satelitales

Existe una gran clasificación de órbitas, las más mencionadas son por su altitud, los expertos en satélites utilizan cuatro términos básicos para describir las diversas altitudes, que son: GEO, MEO, LEO y HEO.

GEO

Abreviatura de Órbita Terrestre Geosíncrona. Los satélites GEO orbitan a 36,000 kilómetros sobre el ecuador, a nivel del mar. A esta altitud, el periodo de rotación del satélite es de 24 horas, por lo tanto parece estar siempre sobre el mismo lugar de la superficie del planeta. En la actualidad, esta es la órbita mas congestionada alrededor de la tierra; muchos propietarios de satélites quieren estar ahí, por obvias razones de sencillez y bajo costo de operación. Esta órbita también se conoce como órbita de Clarke, en honor al escritor Arthur Clarke, mencionado en el apartado 1.2.1

La órbita GEO solo necesita 3 satélites a 120° de diferencia, logrando cubrir toda la superficie terrestre ver (Fig. 1.1). Sin embargo tienen una latencia¹ de 0.24s. Así mismo, los GEO necesitan obtener posiciones orbitales específicas alrededor del ecuador para mantenerse lo suficientemente alejado del satélite vecino para evitar interferencia.

¹Tiempo que tarda en llegar la información a la Rx

MEO

Los satélites de órbita terrestre media o también llamada intermedia, se encuentran a una altura de entre 10,000 y 15,000 Km (Fig. 1.4). A diferencia de los GEO, su posición no es fija con respecto a la superficie terrestre. Al estar a una altitud menor, se necesitan de 12 satélites para tener cobertura mundial, los cuales operan interconectados, transfiriendo la información para que llegue hasta su destino. En esta órbita la latencia se reduce substancialmente.

LEO

Órbita terrestre de baja altura, los satélites que se encuentren en esta órbita prometen un ancho de banda extraordinario. Los LEO orbitan generalmente por debajo de los 5000 kilómetros, y la mayoría de ellos se encuentran mucho más abajo, entre los 800 kilómetros. A tan baja altura, se requieren 48 satélites para establecer una comunicación mundial, la latencia adquiere valores casi despreciables de unas pocas centésimas de segundo.

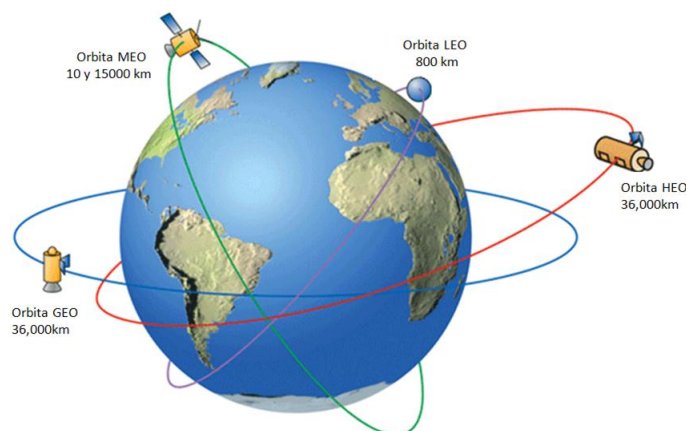


Fig. 1.2: Niveles de órbitas satelitales

HEO

Es una órbita elíptica, muy excéntrica con Perigeo² de 1.000 Km y un apogeo³ de hasta 36.000 Km, e inclinada alrededor de 63° (Fig. 1.5) que no ha sido todavía utilizada por los occidentales. Es muy estimada por los rusos (por lo que también se llama "Órbita Molniya"). El satélite sobrevuela rápidamente (cerca de 33.000 Km/h) en una misma región, alrededor de 8 hrs sobre un ángulo próximo a la vertical; favorece a los países nórdicos. Con una red de tres satélites simétricamente repartidos, se puede pasar sobre la misma marca terrestre, se asegura la cobertura de 2 continentes del planeta.

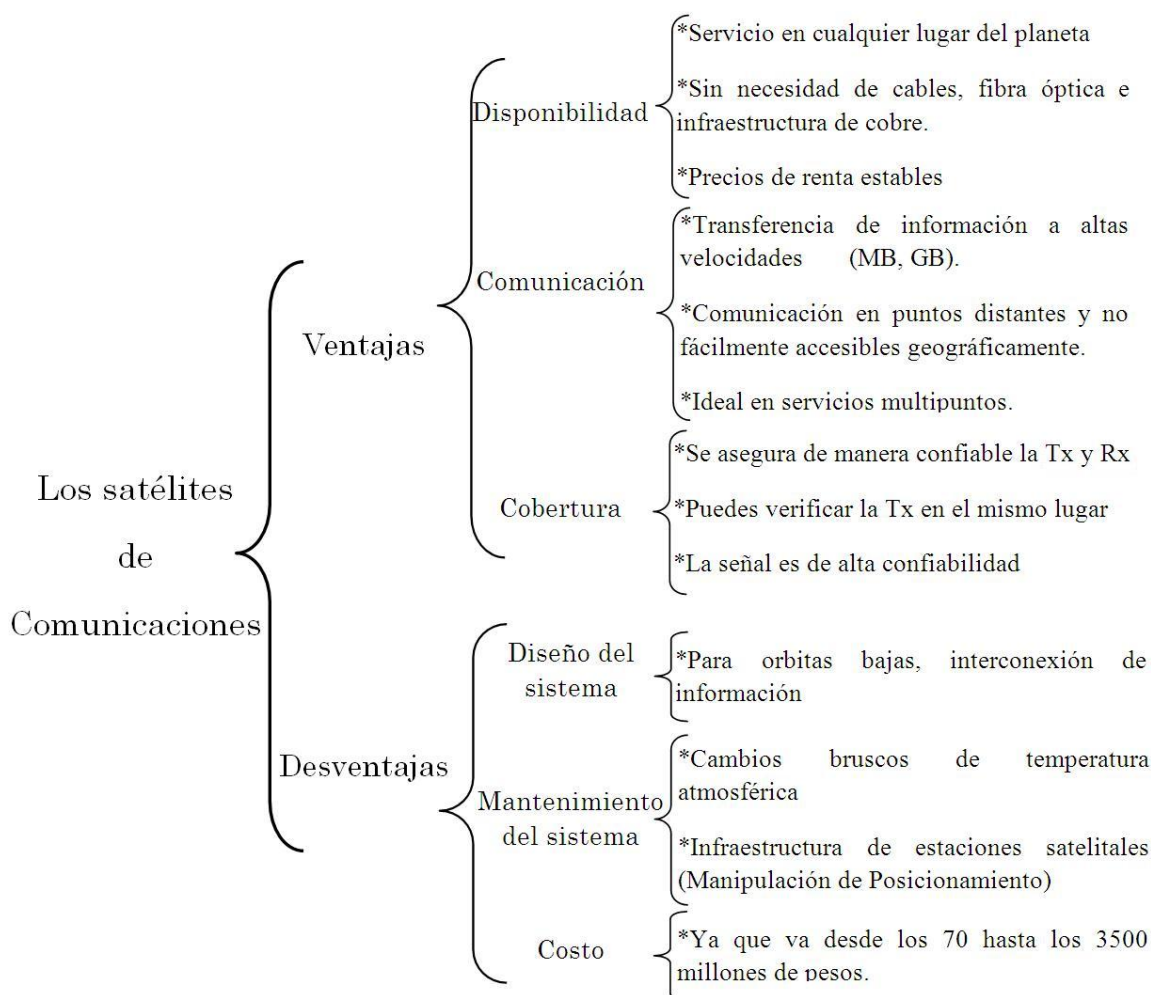
²Momento que el satélite pasa más pegado a la tierra a una gran velocidad

³Momento que el satélite se aleja de la tierra para tener mayor tiempo de cobertura

1.2.4. Ventajas y Desventajas de los Satélites, contra Fibra Óptica.

El importante avance de las redes de larga distancia por fibra óptica no ha reducido la importancia de los satélites de comunicaciones. En la actualidad, ambas tecnologías tienen muy bien definido su mercado y aplicaciones, en varias circunstancias funcionan juntos para darse respaldo uno al otro en casos necesarios. Los satélites han ido madurando en potencia, capacidad y vida útil, a demás de las tradicionales bandas C y Ku, el uso de la banda de frecuencias Ka tiene un mayor ancho de banda que las dos anteriores juntas, tiene una gran potencia para servicios digitales multimedia de alta velocidad.

Como todo sistema tiene sus propias ventajas y desventajas las cuales se describen a continuación:



1.3. Estaciones Satelitales

La participación de empresas privadas a los sistemas satelitales ha aumentado, teniendo como objetivo acelerar el desarrollo y hacer más eficientes las telecomunicaciones; anteriormente los sistemas eran controlados celosamente por el gobierno en México, donde aún se tiene la última palabra a través de la Cofetel¹ hablando territorialmente, ya que de forma espacial existen tres grandes empresas², en México Satmex³.

Donde todas estas son grandes empresas satelitales. Posteriormente vienen las estaciones terrenas, las cuales rentan el tiempo de Tx al satélite con un fin educativo, financiero, gubernamental, datos privados etc., una vez que se tiene la información del usuario se trasmite al satélite que cumpla las características deseadas (Fig. 1.6). A continuación estudiaremos técnicas, aplicaciones y el funcionamiento de las estaciones terrenas.

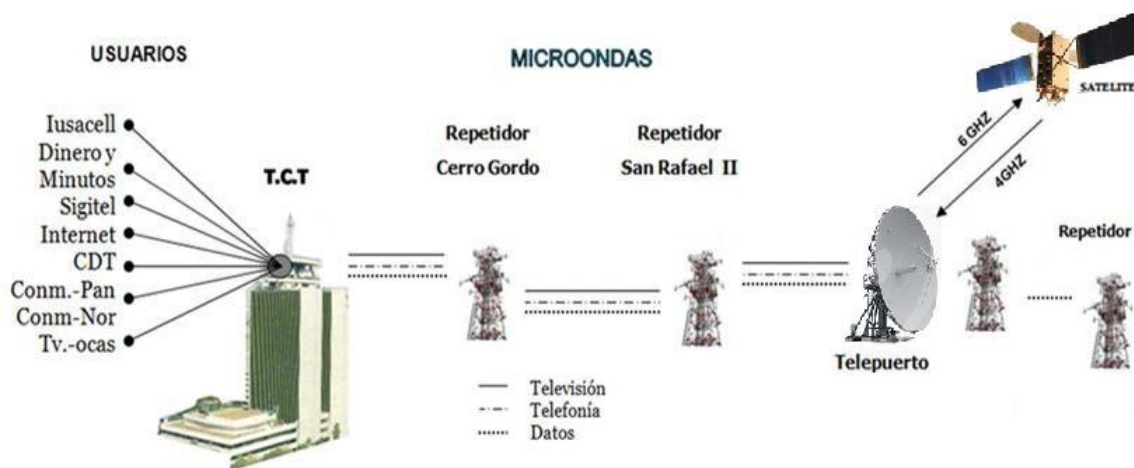


Fig. 1.3: Representación de una estación terrestre fija

Existen dos señales en un enlace satelital, la que recibe el satélite y la que envía el satélite a la tierra ambas con la misma información pero con una portadora de diferente frecuencia para evitar interferencias entre los dos haces. La frecuencia del haz ascendente es mayor que la del haz descendente, entre más alta sea la frecuencia se produce mayor atenuación en su recorrido, por tanto, es preferible transmitir con más potencia desde la tierra donde la disponibilidad energética es mayor. Para evitar que los canales próximos del haz descendente interfieran entre sí, se utilizan polarizaciones distintas.

¹Comisión Federal de Telecomunicaciones

²Intelsat: Organización Internacional de telecomunicaciones por satélite Eutelsat: Organización Europea de telecomunicaciones por satélite

³Organización mexicana de telecomunicaciones por satélite

En el interior del satélite existen unos bloques denominados transpondedores, que tienen como misión realizar este cambio de señal con el fin de que la información que se envía desde la base llegue a las antenas receptoras, ahora bien, si empleamos una estación terrena móvil el enlace sería el siguiente.

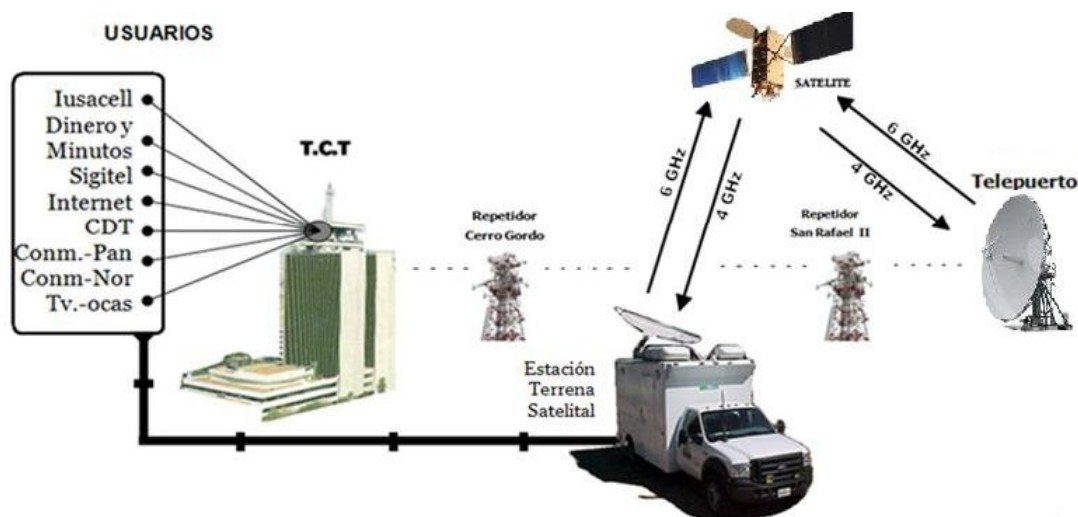


Fig. 1.4: Representación de una estación terrena móvil

Donde la estación terrena móvil tiene conexión directa al satélite, omitiendo el enlace microondas terrestre o el envío de datos por cables, de esta forma solo basta con tener la información del usuario, para enviarla en tiempo real, por lo general, la misma antena es usada como Tx, Rx; para esto se interconecta simultáneamente con los bloques de transmisión y recepción por medio de un dispositivo de microondas llamado “Duplexor”.

Cuando una estación terrena satisface necesidades vitales o prioritarias de comunicación, no se desea que deje de funcionar por fallas locales del suministro comercial de energía eléctrica, por lo que debe de adaptarse su propia planta de respaldo, denominada comúnmente como sistema de respaldo de energía.

Esta planta es fundamental, por ejemplo, en los centros de control de satélites, en los telepuertos y en las estaciones de gran tráfico internacional. Centrémonos en una estación terrena, la siguiente figura es un diagrama de bloques genéricos de la estación en sus tres módulos, trasmisor, receptor y rastreo. Existen estaciones mucho más sencillas y carecen de uno o varios bloques. Ejemplo, las estaciones caseras de Rx de televisión solo requieren los bloques de la antena y el receptor, mientras que las antenas con un diametro mayor a 4mts si emplean el sistema de rastreo, como las de comunicaciones internacionales, logrando conservar su angosto haz directivo bien apuntado hacia el satélite.

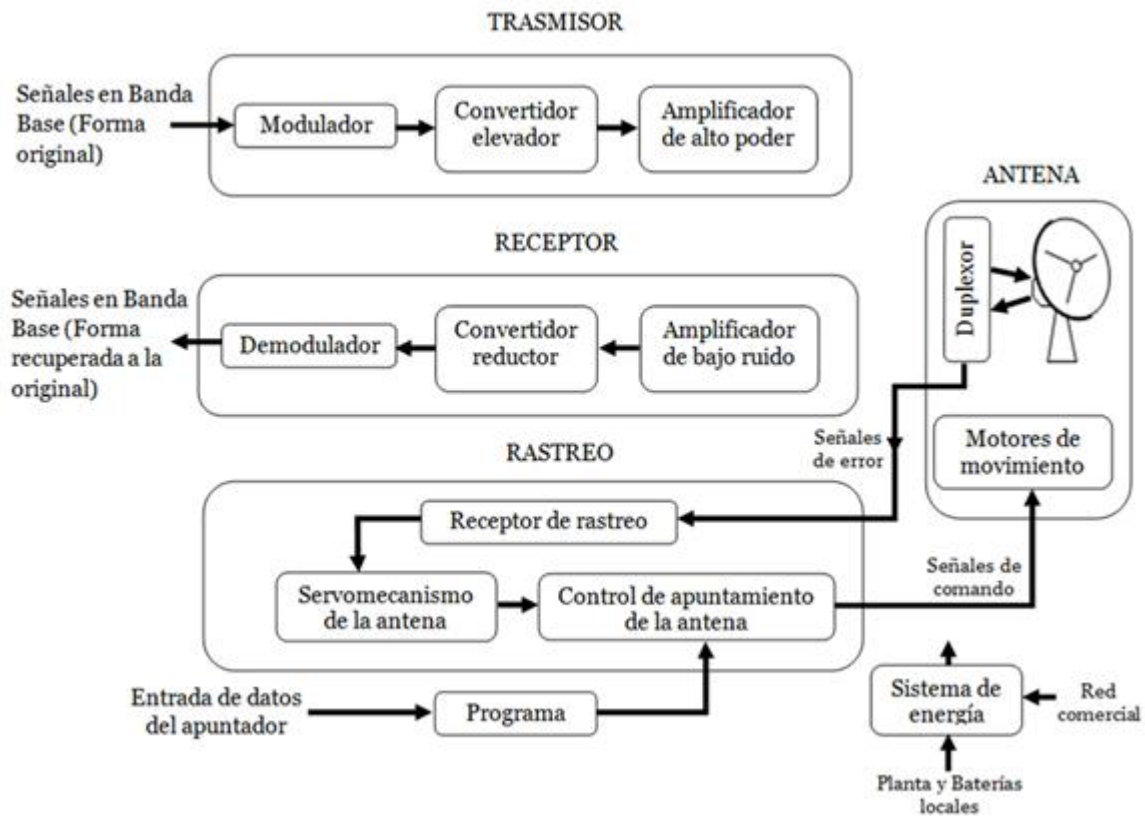


Fig. 1.5: Diagrama a bloques de una estación satelital de tráfico internacional [1].

1.3.1. Antenas Parabólicas

Una antena es un dispositivo diseñado para radiar o recibir ondas electromagnéticas, también podríamos definirlas como los dispositivos que adaptan y guían a dichas ondas que se propagan en el espacio libre. Los sistemas de telecomunicaciones utilizan antenas para realizar enlaces punto a punto o multipunto, difundir señales de televisión, datos o radio.

Normalmente se emplean dos formas de trabajo en enlaces de microondas, operación de forma full dúplex¹, o de forma Simplex², la ventaja de trabajar con antenas parabólicas es poder emplear frecuencias altas y tener una ganancia elevada.

Las características más importantes de una antena son, su ganancia y su diagrama de radiación. La ganancia es la capacidad de la antena para amplificar las señales que transmite o recibe en cierta dirección y se mide en decibels dB³.

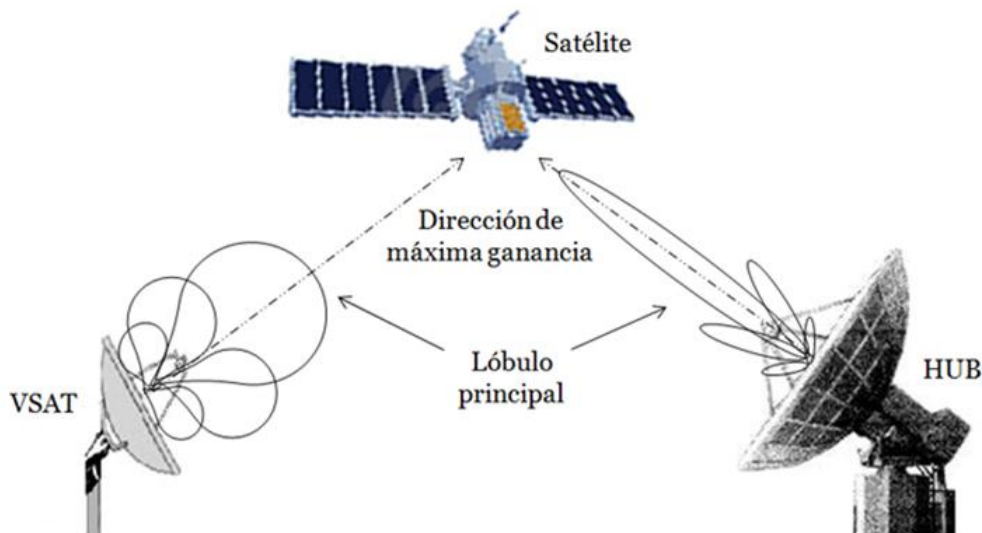


Fig. 1.6: Representación de lóbulos según la ganancia de la antena.

Por lo tanto, siempre se desea tener la mayor ganancia posible en la dirección en la que vienen las señales que se quieren recibir, o en la que se va a transmitir, y la mínima en todas aquellas otras direcciones que no sean de interés o que presenten un alto riesgo de interferencia; de allí que los lóbulos laterales o secundarios de radiación de la antena deban ser lo más pequeños que sea posible, para que no capten señales indeseadas provenientes de otros satélites o de sistemas terrestres de microondas.

El valor de la ganancia es asociado a la dirección de máxima radiación, depende

¹Trasmiten y reciben simultáneamente

²Solo transmite o recibe

³Es la decima parte de un bel, donde un bel es la relación de potencias entre la entrada y la salida

de varios factores, entre ellos el diámetro de la antena, su concatividad, la rugosidad de su superficie, el tipo de alimentador con el que es iluminada, así como la posición y orientación geométrica de la misma.

Cuanto mayor sea el diámetro de una antena parabólica, mayor es su ganancia, el lóbulo principal de radiación es más angosto y los lóbulos secundarios se reducen, este efecto también se obtiene mientras mayor sea la frecuencia, hablando “Eléctricamente”, la antena es más grande en términos de longitudes de onda (ver figura 1.6).

Tipos de Antenas

Toda antena parabólica tiene un reflector, una antena transmisora reflejará las ondas electromagnéticas generadas por un dispositivo radiante que se encuentra ubicado en el foco del reflector, mientras que en una antena receptora el reflector parabólico concentrará las ondas incidentes en su foco donde también se encuentra un detector. La estructura de una antena parabólica, se clasifica de la siguiente manera.

Antena parabólica de foco primario.

Todas las ondas inciden paralelamente al eje principal y van a parar al Foco. El Foco está centrado en el paraboloide. Tiene un rendimiento máximo del 60 por ciento aproximadamente, es decir, de toda la energía que llega a la superficie de la antena, el 60 por ciento llega al foco y se aprovecha, el resto no llega al foco y se pierde. Se suelen ver de tamaño grande, aproximadamente de 1,5 m de diámetro.

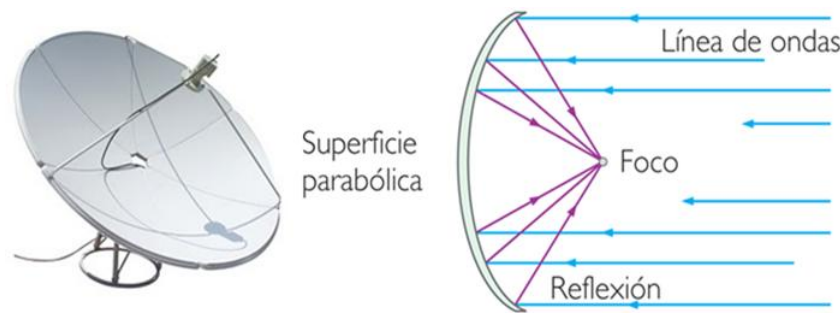


Fig. 1.7: Antena parabólica foco centrado

Antena parabólica OFFSET.

Este tipo de antena se obtiene recortando grandes antenas parabólicas de forma esférica, tiene el Foco desplazado hacia abajo, de tal forma que queda fuera de la superficie de la antena, debido a esto, el rendimiento es mayor (visto desde el punto

receptor) que en la de Foco primario, y llega a ser de un 70 por ciento aproximadamente. El diagrama de radiación tiene forma de óvalo, las ondas que llegan a la antena se dirigen al foco y el resto se pierden.

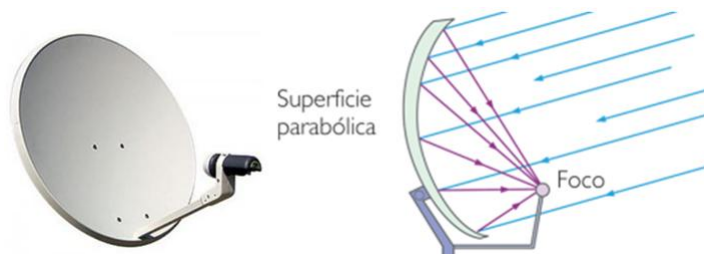


Fig. 1.8: Antena parabólica offset

Antena parabólica Cassegrain.

Es similar a la de foco primario, sólo que tiene dos reflectores; el mayor apunta al lugar de recepción, y las ondas al chocar, se reflejan y van al foco donde está el reflector menor, donde estará colocado el detector. Se suelen utilizar en antenas muy grandes, donde es difícil llegar al foco para el mantenimiento de la antena.

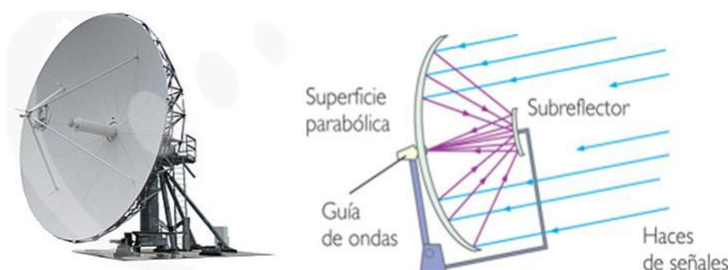


Fig. 1.9: Antena parabólica Cassegrain

Antenas planas.

Se utilizan actualmente para la recepción de los satélites de alta potencia, son empleadas para los enlaces de datos, como el Hispasat¹. Este tipo de antena no requiere un apuntamiento al satélite tan preciso, aunque lógicamente hay que orientarlas hacia el satélite determinado.

Es importante mencionar que una antena plana son de gran apertura, usualmente empleadas por radares y sistemas de GPS, su sistema de arreglo es formado por un conjunto de dos o más antenas idénticas distribuidas y ordenadas de tal forma que en conjunto se comportan como una única antena con un solo diagrama de radiación, la principal característica de un arreglo de este tipo es que su diagrama

¹Ejemplo de un satélite que trabaja con frecuencias de la banda Ka

de radiación es modificable, de esta manera se puede adaptar a diferentes aplicaciones según la necesidad.



Fig. 1.10: Antena parabólica plana

Parámetros de una Antena

Diagrama de Radiación

El diagrama de radiación de una antena es la representación gráfica de sus propiedades de radiación en las distintas direcciones del espacio. Lo habitual es representar el campo eléctrico en coordenadas esféricas, con la antena situada en el origen de coordenadas y tomando como referencia el valor máximo de la magnitud. El resto serán valores relativos a él, en escala logarítmica.

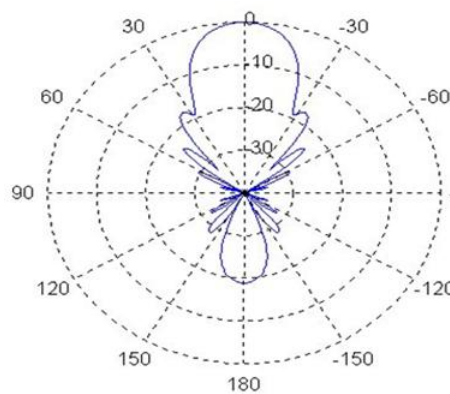


Fig. 1.11: Patrón de radiación con todos sus lóbulos

Ancho de Banda

El ancho de banda de una antena se define como el rango de frecuencias sobre las cuales la operación de la antena es “Satisfactoria”, por lo general se toman los puntos de media potencia.

Ganancia

La ganancia de una antena parabólica indica la cantidad de señal captada que se concentra en el alimentador. Dicha ganancia depende del diámetro del plato, de la exactitud geométrica del reflector y de la frecuencia de operación. Si el diámetro aumenta, la ganancia también, porque se concentra mayor energía en el foco.

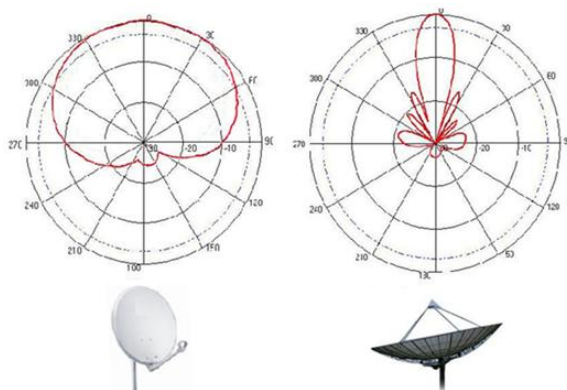


Fig. 1.12: Ganancia de acuerdo al tipo de antena

Orientación al Satélite

Azimut

El valor del Azimut indica el punto exacto en el que debemos fijar la antena en el plano horizontal. Este ángulo Azimut se mide desde el norte geográfico en sentido de las agujas del reloj, el polo norte magnético es el punto de la superficie terrestre que atrae el extremo rojo de la aguja de la brújula. Este punto no tiene una ubicación física fija. En el caso de México, este ángulo es de unos 12° hacia la derecha en la Península, España es de 5° aproximadamente.

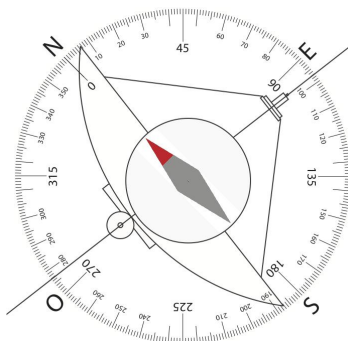


Fig. 1.13: Orientación en grados de azimut.

Cabe mencionar que se toma un punto de referencia, para el eje horizontal será la posición de los satélites en su órbita geoestacionaria, esto es el ecuador. Y para el eje vertical será el meridiano de Gren-wish.

Elevación

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

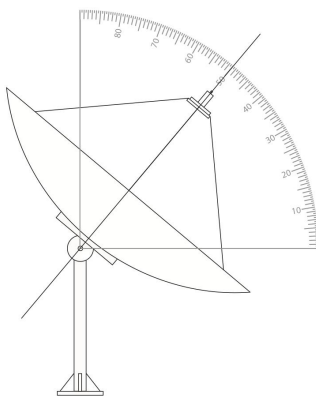


Fig. 1.14: Orientación en grados de elevación.

Polarizador

Existen dos tipos de polarización, la lineal, donde las ondas electromagnéticas se propagan de forma horizontal o vertical y la circular, las ondas electromagnéticas se propagan girando en sentido o en contra a las manecillas del reloj. El polarización se ajusta girando el LNB², respecto a la vertical en el sentido de las agujas del reloj. Este ángulo, igualmente, vendrá determinado por la ubicación geográfica de la antena.

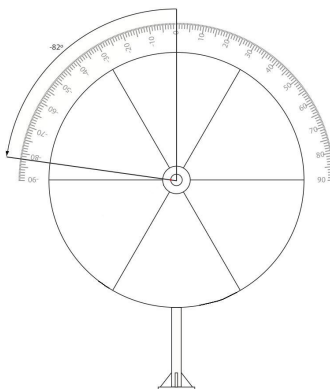


Fig. 1.15: Orientación del polarizador para tener una mejor ganancia.

²Del inglés Low Noise Block, en castellano bloque de bajo ruido

1.3.2. Rastreo del Satélite

Dependiendo de cuanto se mueva el satélite geoestacionario en relación con su posición designada y del ancho de haz de la antenna terrestre que desee comunicarse con el, se puede requerir o no un sistema de rastreo. Cuanto más angosto sea el ancho de haz de la antenna, y esta esté más cerca del ecuador, el apuntamiento se vuelve más importante.

Si el ancho de haz de la antenna es mucho más grande que la ventana del satélite, no se necesita un rastreo. Por ejemplo, una antenna estándar Intelsat requiere apuntar continuamente hacia el satélite con una precisión de orden 0.01° para mantener la comunicación fiable, y necesita un sistema de rastreo muy complejo; en cambio, en una estación casera de recepción de Tv, cuyo diámetro es pequeño y el ancho de su haz es muy grande, no es necesario un rastreo. Existen dos tipos de sistemas de rastreo, el preprogramado y el automático.

Preprogramado

Consiste en determinar con anticipación los movimientos del satélite y programar acordeamente el mecanismo de orientación de la antenna de la estación terrena para que lo siga, con programas de computadora, sus movimientos pueden ser predichos, alineando la antenna al satélite indicado.

Automático

El método automático de rastreo por pasos es empleado, por todas las estaciones de tamaño medio (Foco primario) o las estaciones de barcos, siendo más económico, la antenna detecta la intensidad de una señal guía, emitida por el satélite; a continuación da un paso, alrededor de sus ejes de montaje y compara la intensidad de la señal recibida con la anterior.



Fig. 1.16: Ejemplo de una frecuencia continua como faro al satélite

1.3.3. El Trasmisor

El equipo de transmisión consiste en tres módulos, modulador, convertidor elevador y amplificador de altas potencias. Después de que una señal ha sido generada o producida ya sea que consista en canales telefónicos, de televisión o de datos y una vez hechas las combinaciones necesarias de multiplexaje, se requiere acondicionarla para que pueda ser radiada eficientemente a través del aire y el vacío hacia el satélite, sin que sea interferida o interfiera con otras señales; este acondicionamiento, permite recuperar fielmente, con la mayor aproximación posible, en la estación terrena receptora.

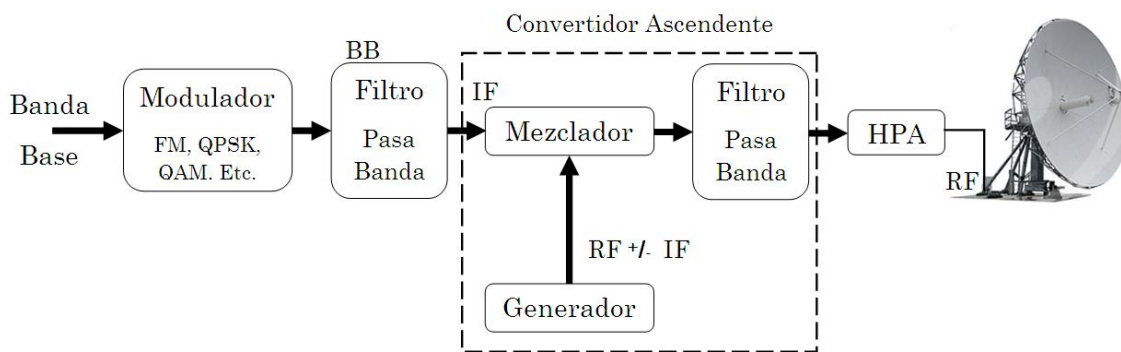


Fig. 1.17: Diagrama a bloques de un transmisor satelital

El modulador de la estación combina la forma de la señal original con la señal portadora, modificando el ancho de banda de frecuencias y la posición de la información dentro del espectro radioeléctrico, la cual es transferida a frecuencias más altas. Este paso de la señal modulada ¹ a frecuencia intermedia es el primero en su asenso de conversión a microondas. Aunque el modulador coloca la señal modulada en una región más alta del espectro radioeléctrico, la FI² no es adecuada todavía para radiarla eficientemente a través de la atmosfera. Por tanto, es necesario subirla más en frecuencia, empleando para ello un equipo convertidor elevador de frecuencia.

El convertidor elevador transfiere la señal de la frecuencia intermedia a una posición dentro del espectro radioeléctrico en donde las nuevas frecuencias que la integran son mucho más altas que cuando salieron del modulador.

La señal tiene ahora la frecuencia apropiada para poder ser radiada hacia el satélite, pero su nivel de potencia es aún muy bajo, por lo que es necesario amplificarla antes de entregársela a la antena; para esto se utiliza un amplificador de alta potencia o HPA³ y de esta manera ya poder entregarle la información a la antena.

¹La señal modulada contiene tanto la información original como la portadora

²frecuencia intermedia

³De sus siglas en ingles: High Power Amplifier

1.3.4. El Receptor

Recuerde que un satélite de comunicaciones funciona como un gran espejo direccional en el espacio; la señal retransmitida es casi idéntica a la que recibe por la estación terrena transmisora, con la diferencia de que es colocada en una región de frecuencia más baja en el espectro radioeléctrico, y por su puesto es amplificada. En su trayectoria de regreso hacia la tierra, la señal viaja un promedio de 36,000 km y por lo tanto su nivel de potencia al llegar a las antenas terrestres es sumamente bajo es por esto que se emplean los siguientes elementos a la entrada seguidos de su sistema.

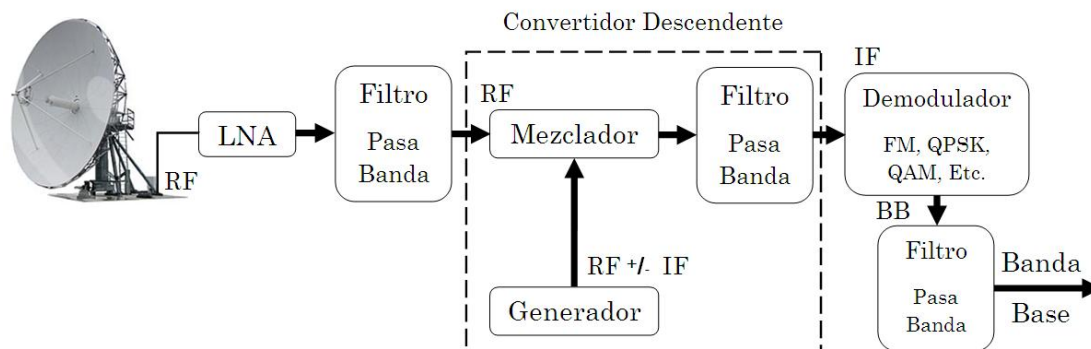


Fig. 1.18: Diagrama a bloques de un receptor satelital

Se hace referencia al un elemento de gran importancia para este extremo receptor. La antena recibe las señales provenientes del satélite y a través del duplexor se las entrega a un amplificador de bajo ruido, es de suma importancia ya que a la llegada, la señal tienen una intensidad muy baja y es muy vulnerable a cualquier ruido que se le pueda añadir antes de ser amplificada a un nivel aceptable. La antena y el amplificador de bajo ruido definen la calidad de su operación (al menos en la primera etapa de recepción).

1.4. Métodos de Acceso al Medio

En telecomunicación, la multiplexación es la combinación de dos o más canales de información en un solo medio de transmisión, usando un dispositivo llamado multiplexor. El proceso inverso se conoce como demultiplexación. Un concepto muy similar es el de control de acceso al medio. Existen muchas estrategias de multiplexación según el protocolo de comunicación empleado, que puede combinarlas para alcanzar el uso más eficiente; los más utilizados son:

Multiplexación por FDMA.

La técnica de multiplexación FDMA (Del inglés Frequency Division Multiple Access.) es usada en múltiples protocolos de comunicaciones, tanto digitales como

analógicos, principalmente de radiofrecuencia, y entre ellos en los teléfonos móviles de redes GSM. En FDMA, el acceso al medio se realiza dividiendo el espectro disponible en canales, que corresponden a distintos rangos de frecuencia, asignando estos canales a los distintos usuarios y comunicaciones a realizar, sin interferirse.

Multiplexacion por TDMA.

La técnica de multiplexación TDMA (Del inglés Time Division Multiple Access) permite la transmisión de señales digitales y cuya idea consiste en ocupar un canal (normalmente de gran capacidad) de transmisión a partir de distintas fuentes, de esta manera se logra un mejor aprovechamiento del medio de transmisión.

Multiplexacion por CDMA.

La técnica de multiplexación CDMA (Del inglés Code Division Multiple Access) es un término genérico para varios métodos de multiplexación o control de acceso al medio basados en la tecnología de espectro expandido.

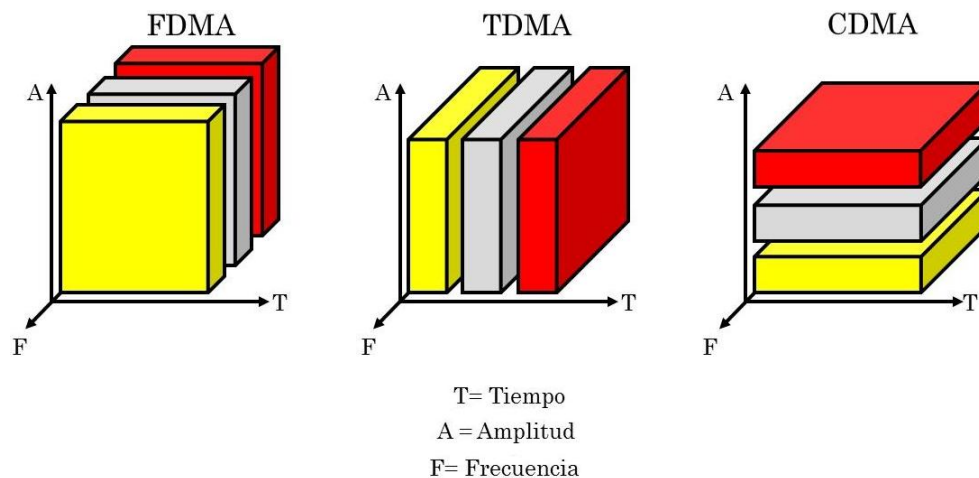


Fig. 1.19: Tipos de multiplexación

Enlaces Intersatelitales

Desde su inicio, los satélites de comunicación han funcionado como simples repetidores en el espacio, de manera individual. Con forme las necesidades de las comunicaciones espaciales han ido evolucionando, se han desarrollado nuevos sistemas como el uso de enlaces entre los mismos satélites.

La posibilidad de que los satélites se comuniquen entre si directamente, sin necesidad de emplear estaciones terrenas relevadoras para enviar ciertos tipos de información

de un lugar a otro, ofrece muchas ventajas; entre ellas, la potencia disponible se usa con mayor potencia y la calidad de los enlaces mejora consecuentemente. Los beneficios pueden ser aun mayores si los satélites de servicio fijo para comunicarnos convencionales, de servicio móvil y de redifusión directa logran comunicarse entre sí.

De esta forma, por ejemplo, un aficionado a acampar podría ver en su remolque en Australia un programa deportivo transmitido por un satélite Estadounidense, o una persona en una plataforma marítima de explotación de petróleo podría tener una video conferencia con alguien que estuviese al otro lado de la tierra. Las posibilidades futuras pueden ser muchas, independientemente de la existencia de redes mundiales con cable de fibra óptica.



Fig. 1.20: Interconexión satelital mundial

Los enlaces internacionales requieren hacerse con haces muy angostos, y como las dimensiones de las antenas de los satélites están limitadas por razones de diseño y colocación en órbitas es preciso utilizar frecuencias muy altas; de esta forma, las dimensiones eléctricas de las antenas aumentan, y por lo tanto su ganancia también, mientras que el ancho del haz de radiación disminuye.

Las UIT establece estas frecuencias intersatelitales, a dichas frecuencias ocurren fuertes absorciones en la atmósfera terrestre, pero fueron escogidos para evitar las interferencias de los enlaces intersatelitales con los sistemas terrestres (por radiación de los lóbulos laterales de las antenas), además de que el problema de la absorción atmosférica no existe en el vacío del espacio.

El uso de las frecuencias arriba de 100 GHz actualmente no es práctico, debido a la falta de componentes confiables de radiofrecuencia, a la alta presión requerida para las antenas reflectoras y a los requerimientos tan exigentes para los sistemas de seguimiento y la adquisición de enlace. La banda de los 50 a 60 GHz (banda U)

es la más adecuada hasta la actualidad ya que se puede realizar un excelente enlace entre satélites y tiene mínimas perturbaciones al sistema.

1.5. Conclusiones

En este capítulo, se estudiaron los conceptos y fundamentos de una Comunicación satelital. Se hizo énfasis en el modelado y obtención de las estaciones terrenas, todo ello para obtener el diagrama de las etapas que integran al sistema.

Se describieron técnicas, otro aspecto importante en este capítulo, era realizar un estudio concreto de la antena, ya que es pieza clave para el enlace satelital, se estudiaron a groso modo algunos métodos de optimización del medio.

De esta manera, el siguiente capítulo estudiaremos las ecuaciones matemáticas que modelan al sistema de un enlace satelital.

Capítulo 2

Cálculos de un Enlace Satelital

2.1. Introducción

En este capítulo se implementarán los conceptos y las formulas para el diseño de un enlace satelital, tomadas de la referencia[1]. Para poder recuperar la información transmitida con la calidad esperada es necesario que la relación portadora a ruido a la entrada del demodulador sea mayor que el ruido determinado. La relación C/N mínima depende de la frecuencia de operación, su acondicionamiento y muchos parámetros que se estudian a lo largo de este capítulo. Un enlace satelital se clásica en dos etapas, etapa de subida, del transmisor (Tx) al satélite, y enlace de bajada, del satélite al receptor (Rx).

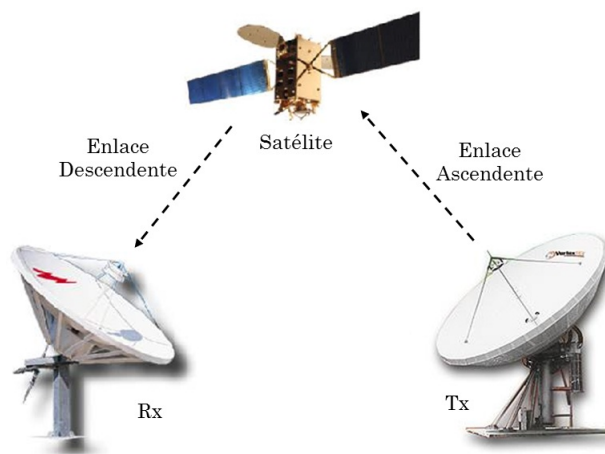


Fig. 2.1: Clasificación de un enlace satelital

2.2. Cálculos del Enlace de RF

Conviene iniciar este capítulo aprendiendo a calcular la orientación de una estación terrena hacia el satélite con el que deba comunicarse, ya que su ángulo de elevación es necesario para poder cuantificar varios de los efectos del medio de propagación sobre las señales transmitidas, tal como se verá en las siguientes secciones.

2.3. Ángulos de Elevación y Azimut

Para orientar la antena de una estación terrena en la dirección correcta hacia donde está el satélite con el que desea comunicarse, se definen los ángulos de elevación y azimut. Estos ángulos son medidos tomando como referencia a la línea sobre la cual la antena tiene ganancia máxima, tanto el ángulo de elevación como el ángulo de azimut dependen de las coordenadas geográficas de la estación terrena. La siguiente fórmula la contemplaremos para el cálculo de elevación de la antena.

$$\theta = \arctan \left[\frac{c - \frac{Re}{h}}{\sin \theta'} \right] \quad (2.1)$$

$$c = \cos l \cdot \cos \Delta L \quad (2.2)$$

$$\theta' = \arccos(c) \quad (2.3)$$

$$\Delta L = \|Longitud_{Sat} - Longitud_{ET}\| \quad (2.4)$$

El ángulo de azimut es el ángulo medido en el sentido de las manecillas del reloj entre la línea que une a la estación terrena con el norte geográfico y la proyección horizontal local de la línea de máxima radiación de la antena que debe apuntar en la dirección hacia el satélite.

$$\phi' = \arctan \left[\frac{\tan \Delta L}{\sin l} \right] \quad (2.5)$$

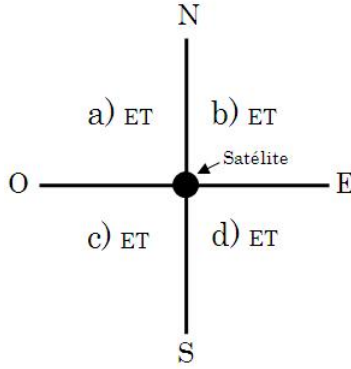


Fig. 2.2: Representación de la estación terrena de acuerdo al cuadrante con respecto al satélite

Se ubica la estación terrena en su posición con respecto al satélite comparando la longitud de estas, una vez que se sabe en qué cuadrante se encuentra la estación terrena y se conoce el valor de ϕ' se aplica las condiciones siguientes que le corresponda.

$$a)\phi = 180 - \phi' \quad (2.6)$$

$$b)\phi = 180 + \phi' \quad (2.7)$$

$$c)\phi = \phi' \quad (2.8)$$

$$d)\phi = 360 - \phi' \quad (2.9)$$

Donde:

θ : Ángulo de elevación

ET : Estación terrena

ϕ' : Ángulo de la ET con respecto al satélite

ϕ : Ángulo de azimut

l : $Latitud_{ET}$

h : Rádio de la órbita (42,164 km)

Re : Rádio de la tierra (6,378 km)

2.4. Distancia Entre la ET y el Satélite

La distancia que hay entre una estación terrena y un satélite se denomina rango. Esta distancia puede ser calculada conociendo el ángulo de elevación y la distancia

que existe desde el centro de la tierra hasta el satélite, recordemos que estamos trabajando con satélites geoestacionarios.

$$S = 35,786\sqrt{1,4199 - 0,4199 \cdot \cos \theta'} \quad (2.10)$$

2.5. Tiempo de Retardo de la Señal

Aún cuando las señales de radio viajan a la velocidad de la luz, para ciertas aplicaciones (como telefonía y sistemas interactivos de alta velocidad) puede ser importante el tiempo total que la señal tarda en subir desde la tierra hacia el satélite y viceversa. Este tiempo de retardo es calculado con la sencilla fórmula:

$$t = \frac{S}{c} \quad (2.11)$$

Donde:

t : Latencia

S : Rango

c : La velocidad de la luz (3×10^8)

2.6. Ganancia y Ancho de Haz de la Antena

La ganancia de una antena es el factor más importante, cuanto más grande son las antenas parabólicas tienen la propiedad de una mayor capacidad para concentrar la energía de un haz electromagnético muy angosto, que ilumina pocas unidades cuadradas, pero que las irradia con niveles muy altos de densidad de potencia; esto facilita y reduce el costo de las estaciones terrenas logrando ser mas directivo el haz electromagnético hacia el satélite.

El ancho de haz del lóbulo principal de radiación de un plato parabólico, definido como el ángulo entre los dos puntos de media potencia se puede calcular con la expresión siguiente.

$$G = \eta \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \quad (2.12)$$

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.13)$$

$$\theta_{3dB} = 70 \frac{\lambda}{D} \quad (2.14)$$

Donde:

G :Ganancia

c : 3×10^8

f :Frecuencia

D :Diámetro

θ_{3dB} :Ancho de haz

η :Eficiencia de la antena

Expresada la ganancia en decibels obtenemos.

$$[G]_{dB} = 10 \log(G) \quad (2.15)$$

2.7. Atenuación por Espacio Libre

Las pérdidas de potencia más grandes en un enlace satelital ascendente o descendente se debe a la enorme distancia que hay entre el satélite y las estaciones terrenas. Aunque su valor exacto depende de su frecuencia, tales perdidas son aproximadamente en el orden de los 200 dB en la subida y otros 200 dB en la bajada para satélites geoestacionarios. A dicha atenuación de potencia debida a la distancia recorrida por una señal portadora se le conoce como atenuación por propagación en el espacio libre, considerando los parámetros siguientes, aplicaremos la siguiente fórmula.

$$L_{el} = \left[\frac{4\pi s f}{c} \right]^2 \quad (2.16)$$

Expresando en decibels obtenemos.

$$[L_{el}]_{dB} = 10 \log(L_{el}) \quad (2.17)$$

Donde:

s : Rango

$c : 3 \times 10^8$

f : frecuencia

2.8. Atenuación por Absorción Atmosférica

Cuando las frecuencias de transmisión son lo suficientemente altas, las ondas electromagnéticas interactúan con las moléculas de los gases en la atmósfera. Estas interacciones reducen la potencia de las señales conforme atraviesan la atmósfera y se intensifican en las frecuencias de resonancia del vapor de agua, oxígeno y bióxido de carbono.

Si consideramos exclusivamente el rango de frecuencia empleado exclusivamente por los satélites de comunicaciones, las únicas resonancia de interés son la del vapor de agua que está centrada en 22.2 GHz, y la del oxígeno, que está en los 60 GHz más arriba en el espectro radioeléctrico existen otras frecuencias de resonancia las cuales no son de importancia para nuestro tema lo que sí es importante señalar es que las bandas de frecuencia que la Unión Internación de Telecomunicaciones ha asignado para los satélites de comunicaciones son frecuencias que fueron cuidadosamente elegidas para evitar las zonas de mayor atenuación las cuales son detalladas en la siguiente tabla.

Banda	Frecuencia de Subida	Frecuencia de bajada	Problemas
C	5925-6425 MHz	3700-4200 MHz	Interferencia terrestre
Ku	14000-14500 MHz	11700-12200 MHz	Lluvia Hz
Ka	27500-30500 MHz	17700-21700 MHz	Lluvia Hz

Tabla 2.1: Bandas de Frecuencias Satelitales

Las bandas C, Ku y Ka se encuentran en las zonas de baja absorción atmosférica, considerando este parámetro y conociendo el ángulo de elevación de la estación terrena podemos calcular las atenuaciones por absorción atmosférica.

$$[L_{a.a}] = [L_{cenit}]_{dB} \cdot \csc \theta \quad (2.18)$$

Donde:

θ : Ángulo de elevación

L_{cenit} : Perdidas de acuerdo a la Banda

2.9. Pérdida por Desapuntamiento

Para poder calcular las perdidas por desapuntamiento, es necesario considerar la ganancia de la antena, el diámetro y la frecuencia de operación. Considerando que si la antena se encontrara debajo del satélite está pérdida sería nula, como en mucho de los casos esto no es posible por las radiaciones globales que se buscan con un satélite es necesario considerar la diferencia entre el satélite y la estación terrena sumado a los parámetros que expresamos al principio de este fragmento consideramos la siguiente ecuación.

$$[L_{apum}]_{dBi} = [G]_{dBi} - 12 \left[\frac{\Delta L}{75(\frac{\lambda}{D})} \right]^2 \quad (2.19)$$

Donde:

$[L_{apum}]$: Perdidas por desapuntamiento

$[G]_{dBi}$: Ganancia

ΔL : $Longitud_{Sat} - Longitud_{ET}$

λ : Landa

D : Diámetro de la antena

2.10. Potencia Isotrópica Radiada Efectiva

La potencia de salida del amplificador, es radiada por la antena transmisora, concentrándola en cierta región frente a ella; el grado de esta concentración depende de su ganancia, que ya se vió como calcular, si la antena transmisora no fuera directiva, sino isotrópica entonces la potencia se distribuirá de manera uniforme en un frente de onda esférica, una antena parabólica radiara su potencia directamente hacia donde este orientada concentrando su mayor ganancia en su foco, a este factor se le conoce como PIRE Potencia isotrópica radiada efectiva.

$$[PIRE]_{dBW} = 10 \log[P_T] + [G]_{dBi} \quad (2.20)$$

$PIRE$: Potencia Isotrópica Radiada Efectiva

P_{Tx} : Potencia de transmisión

G : Ganancia

2.11. Atenuación por Lluvia

Cuando llega a llover en la zona donde está instalada una estación terrena ya sea transmisora o receptora, las señales portadoras son atenuadas conforme se propagan a través de la región del aire en donde está lloviendo, la gran distancia que recorre la señal se verá afectada, donde es de suma importancia la elevación de la antena transmisora.

Las gotas de lluvia absorben energía al ser calentadas por las señales de microondas, y conforme la longitud de la onda es más estrecha se hace comparable al tamaño de las gotas. Esto como consecuencia resultara que a mayor frecuencia mayor será la atenuación de la señal y entre mas pegadas estén las gotas de lluvia afectara severamente la señal, considerando algunas constantes que científicos han dedicado al tema aplicaremos las siguientes ecuaciones.

$$L_u = \gamma(d)(\gamma_{0,01}) \quad (2.21)$$

$$[\gamma]_{\frac{dB}{Km}} = aR_{001}^b \quad (2.22)$$

$$d = \frac{hr - ho}{\sin \theta} \quad (2.23)$$

$$a = 4,21 \times 10^{-5} f^{2,42} \quad (2.24)$$

$$b = 1,41 f^{-0,0779} \quad (2.25)$$

$$\gamma_{0,01} = \frac{1}{1 + \left(\frac{d}{35e^{-0,015R_{0,01}}} \right) \cos \theta} \quad (2.26)$$

Donde:

l : Latitud

θ : Angulo de elevación

ho : *Altitud_{ET}*

hr : $3 + 0,028l (0^\circ \leq l < 36^\circ)$

hr : $4 - 0,075(l - 36) (l \geq 36^\circ)$

$R_{0,01}$: Variable de intensidad de lluvia

f : Frecuencia

2.12. Canal a Ruido

El ruido es cualquier factor que perturba, o crea una situación confusa en la comunicación. Puede ser interna (cundo el receptor no está prestando atención), o

externo (cuando el mensaje es distorsionado por otras condiciones en el ambiente). Puede presentarse en cualquier etapa del proceso de comunicación. Al ser alterada la información los decodificadores no pueden mostrar la señal y por tanto el sistema es nulo.

Implementando el ruido en la comunicación satelital se define como un cociente de potencia de ruido. En el numerador se tiene la potencia total de ruido a la salida del amplificador, y en el denominador esta la componente o porción de dicha potencia que es producida por un ruido ya existente a la entrada del amplificador asumiendo a la entrada una temperatura de ruido igual a la temperatura ambiente de referencia (228.6 K). Es decir, ahora se toma en cuenta la situación más realista en la práctica, en la que ya hay cierto ruido a la entrada del amplificador, y que este será amplificado junto con el ruido general, tomando en cuenta todo este parámetro podemos calcular la C/N aplicando la siguiente fórmula:

$$\left[\frac{C}{N} \right]_{Subida} = PIRE_{Tx} - L_T + \frac{G}{T} - (K) \quad (2.27)$$

$$\left[\frac{G}{T} \right] = [G]_{dBi} - [L_{a.a}]_{dB} - 10 \log(580) \quad (2.28)$$

Donde:

$\left[\frac{G}{T} \right]_{Sat}$: Factor de calidad

$[G]_{dBi}$: Ganancia

$L_{a.a}$: Perdidas por absorción atmosférica

$PIRE$: Potencia Isotrópica Radiada Efectiva

$L_T : L_{el} + L_{a.a} + L_{apum} + L_{ll}$

K : Constante de Boltzman $(-228,6)_{dB}$

Logramos conocer la señal a ruido del enlace ascendente, pero tanto en el enlace ascendente como el descendente se tienen atenuaciones diferentes, ya que en cada enlace la portadora tiene diferente frecuencia, los cuales se calculan con las mismas expresiones matemáticas tanto para el enlace ascendente como descendente, solo cambiando los datos si se trata de la estación terrena transmisora o receptora.

$$\left[\frac{C}{N} \right]_{Bajada} = PIRE_{Satelite} - L_T + \frac{G}{T} - (K) \quad (2.29)$$

Finalmente ya que conocemos la C/N descendente aplicaremos la siguiente fórmula

para conocer la C/N de todo en enlace satelital.

$$\left[\frac{C}{N} \right]_{Total} = \frac{1}{\left[\frac{C}{N}_{Subida} \right]^{-1} + \left[\frac{C}{N}_{Bajada} \right]^{-1}} \quad (2.30)$$

La I.C.T.¹ es una organización para el conjunto de sistemas de captación y adaptación de señales radioeléctricas respaldada por la ITU.² Esta organización en su decreto 279 apartado comunicación satelital, establece el valor mínimo de C/N de 8 dB. Aprueba el reglamento técnico que si existe un valor menor se saldrá de sincronía.

2.13. Conclusiones

En este capítulo se describieron las ecuaciones matemáticas y sus aplicaciones dentro del estudio que conforma un enlace satelital. Por otra parte, se desarrolló el modelado del sistema desde el transmisor Tx hasta el satélite (enlace satelital ascendente) y del satélite hasta el receptor Rx (enlace descendente), de esta manera se podrá sacar el valor final del enlace, calculado con el C/N del sistema.

En el siguiente capítulo se implementaran todos estos conceptos en lenguaje de programación para la creación de la interfaz grafica que manipulara el usuario.

¹Infraestructura Común de Telecomunicaciones

²Unión Internación de telecomunicaciones

Capítulo 3

Interfaz Gráfica para el Cálculo de un Enlace Satelital

3.1. Introducción

Podemos observar la gran importancia de toda una estructura y parámetros a considerar en una comunicación satelital. Existen equipos capaces de calcular algunos parámetros, los cuales tienen un precio en miles de pesos y solo dan a conocer algunos parámetros, o pedirle a los propietarios del satélite el cálculo del enlace el cual tiene un precio, antes de poner en marcha los equipos solo se conocen aproximaciones del enlace una vez que se autoriza apuntar al satélite se realizan prácticas para establecer una comunicación confiable. Lo cual en ocasiones se alarga el tiempo de renta por desconocer factores de atenuación o bien se pierde el servicio por exceso de ruido en la señal.

Es por eso que se propone una interfaz gráfica que almacena todos los cálculos vistos en el capítulo anterior, logrando conocer como se comportara la señal frente al ruido por cuestiones naturales, simulando el enlace para aprovechar los equipos y no disminuir la ganancia económicamente hablando.

3.2. Software LabVIEW

LabVIEW¹ es un lenguaje de programación de la familia National Instruments, los software de programación comúnmente emplean el lenguaje C o BASIC. Sin embargo, LabVIEW se diferencia de dichos programas en un importante aspecto, los citados lenguajes de programación se basan en líneas de texto para crear el código fuente del programa, mientras que LabVIEW emplea lenguaje G² para crear programas basados en diagramas de bloques, para el diseño de sistemas de adquisición de datos, instrumentación y control. Labview permite diseñar interfaces de usuario

¹Del inglés Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench

²Programación Gráfica

mediante una consola, interactivo basado en software. Posee extensas librerías de funciones y subrutinas. Además de las funciones básicas de todo lenguaje de programación. Se puede diseñar especificando el sistema funcional, diagrama de bloques o una notación de diseño de Ingeniería. Es a la vez compatible con herramientas de desarrollo similares y puede trabajar con programas de otra área de aplicación (como por ejemplo Matlab), tiene la ventaja de que permite una fácil integración con hardware, específicamente con tarjetas de medición, adquisición y procesamiento de datos (incluyendo adquisición de imágenes).

3.3. Aplicaciones de LabVIEW

Al diseñar alguna aplicación con Labview, está trabajando bajo el concepto de VI's³, se pueden crear VI's a partir de especificaciones funcionales que usted diseñe. Estos VI's puede utilizarse en cualquier otra aplicación como una subfunción dentro de un programa general. Los VI's se caracterizan por tener entradas de datos, tener una o varias salidas y por su puesto ser reutilizables. Se pueden crear aplicaciones en sistemas de medición, como monitoreo de procesos y aplicaciones de control, un ejemplo de esto pueden ser sistemas de monitoreo en transportación, procesos de control industrial, procesamiento digital de señales, procesamiento en tiempo real de aplicaciones biomédicas, manipulación de imágenes y audio, automatización, diseño de filtros digitales, generador de señales, entre otras.

3.4. Estructura de los Paneles de LabVIEW

Los programas desarrollados mediante LabVIEW simulan la apariencia y funcionamiento de un instrumento real. Los VIs tienen una parte interactiva con el usuario y otra de código fuente, y aceptan parámetros procedentes de otros VIs. Todos los VIs tienen un panel frontal y un diagrama de bloques. Las paletas contienen los elementos que se emplean para crear y modificar la interfaz.

3.4.1. Panel Frontal

Se trata de la interfaz gráfica del VI con el usuario. Esta interfaz recoge las entradas procedentes del usuario y representa las salidas proporcionadas por el programa. Un panel frontal está formado por una serie de botones, pulsadores, potenciómetros, gráficos, etc. Cada uno de ellos puede estar definido como un control (sirven para introducir parámetros al VI) o un indicador (se emplean para mostrar los resultados producidos, ya sean datos adquiridos o resultados de alguna operación).

³Instrumentos Virtual

3.4.2. Diagrama de Bloques

El diagrama de bloques constituye el código fuente del VI. En el diagrama de bloques es donde se realiza la implementación del VI para controlar o realizar cualquier proceso con los datos de entrada enviándolos a las salidas que se crearon en el panel frontal. El diagrama de bloques incluye funciones y estructuras integradas en las librerías que incorpora LabVIEW. Los controles e indicadores que se colocaron previamente en el Panel Frontal, se materializan en el diagrama de bloques.

El diagrama de bloques se construye conectando los distintos objetos entre sí, como si se tratara de un circuito. Los lazos unen terminales de entrada y salida con los objetos correspondientes, y por ellos fluyen los datos. LabVIEW posee una extensa biblioteca de funciones, entre ellas, aritméticas, comparaciones, conversiones, funciones de entrada/salida, de análisis, etc.

Las estructuras, similares a las declaraciones causales y a los bucles en lenguajes convencionales, ejecutan el código que contienen de forma condicional o repetitiva (bucle, for, while, case,...). Los cables son las trayectorias que siguen los datos desde su origen hasta su destino, ya sea una función, una estructura, un terminal, etc.

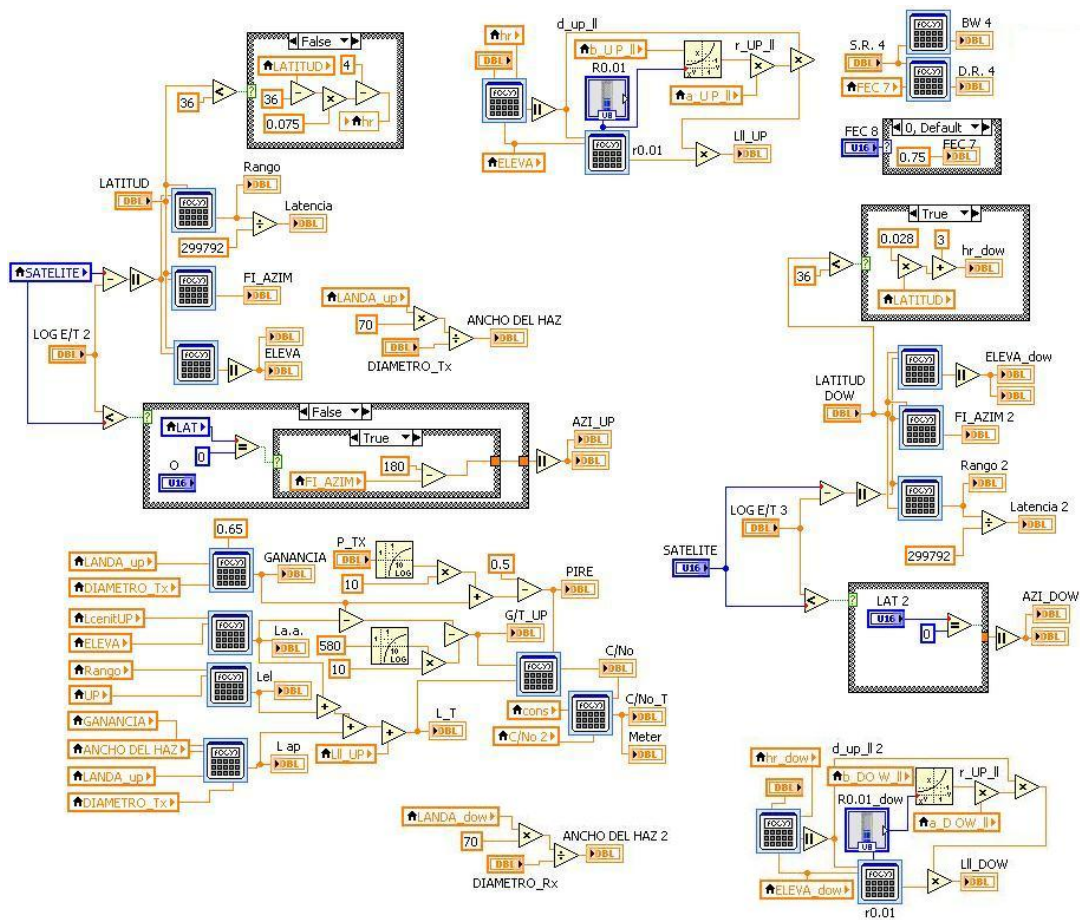


Fig. 3.1: 1 sección del diagrama a bloques del la Interfaz

3.4.3. Paletas

Las paletas de LabVIEW proporcionan las herramientas que se requieren para crear y modificar tanto el panel frontal como el diagrama de bloques. Existen las siguientes paletas:

- Paleta de herramientas (Formato para las dos ventanas)
- Paleta de controles (Panel frontal)
- Paleta de funciones (Diagrama de bloques)

3.5. Desarrollo de la Interfaz Gráfica

Se desarrollo la interfaz gráfica con los datos, ecuaciones, funciones y estructuras del capítulo 2 (cálculos del enlace satelital), se comenzó a programar a partir del panel frontal.

En primer lugar se definieron y seleccionaron de la paleta de controles todas las entradas que dará el usuario e indicadores como salidas de datos del VI.

Una vez colocados los cuadros de dialogo como datos de entrada que el usuario proporcionara, se paso al diagrama de bloques, en ella se encuentran las terminales correspondientes a los objetos situados en el panel frontal, dispuestos automáticamente por LabVIEW, para manipulación de la programación.

Se declararon las funciones, estructuras, subindicadores y algunos elementos necesarios que se requerían para el desarrollo del programa, al mismo tiempo que se realizaba la programación se comparaban los resultados del programa con los cálculos de forma matemática escrita.

A continuación se describe como está conformada la interfaz grafica. Se podrá calcular el enlace satelital total desde el transmisor hasta el receptor para esto se deben de considerar los datos de entrada siguientes.

Datos de entrada del Trasmisor

Los datos de entrada necesarios de la estación terrena trasmisora serán los siguientes.

- Datos geográficos de la ubicación de la E/T, Latitud, longitud y altitud. Con estos datos se podrá ubicar la estación el globo terráqueo.
- Otro valor de entrada necesario es el diámetro de la antena trasmisora.
- Es de suma importancia introducir la potencia del transmisor (valor de salida del HPA), esta será establecida por los propietarios del satélite, con el que se establecerá el servicio.

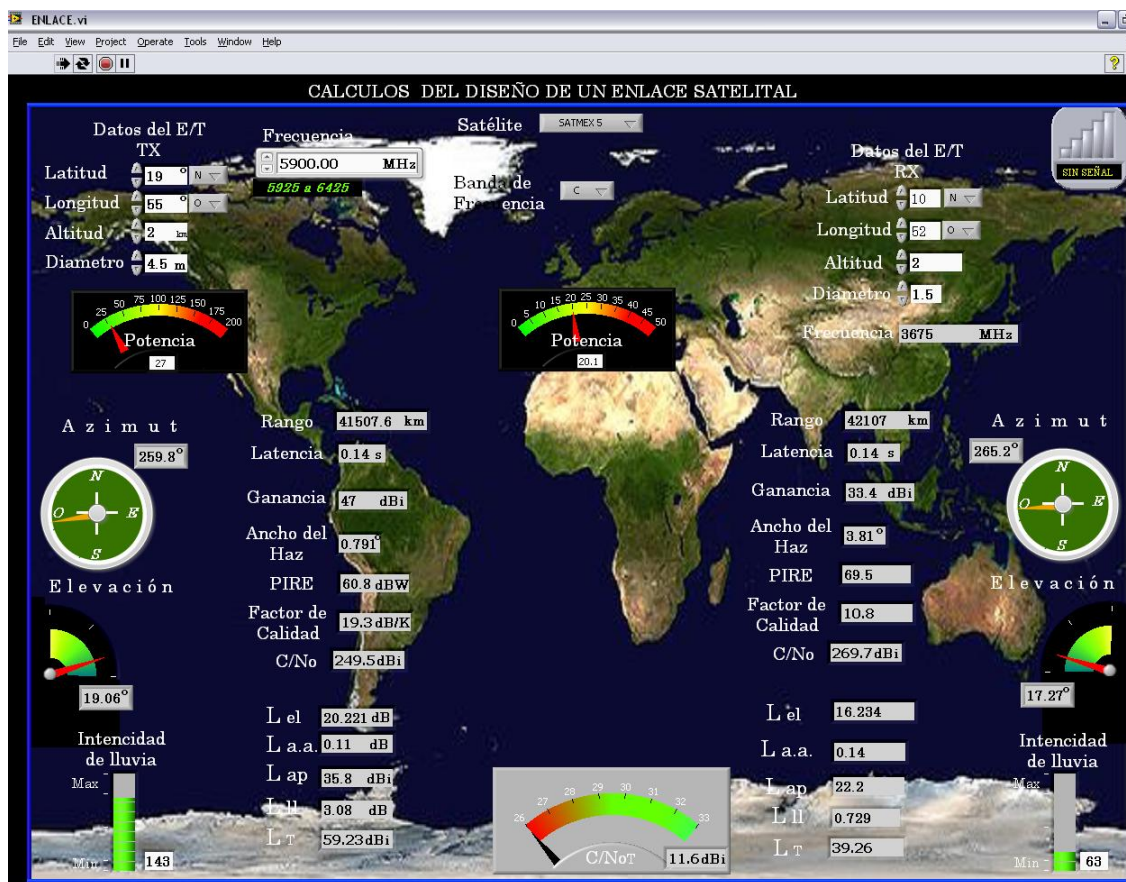


Fig. 3.2: Interfaz gráfica para los calcular un enlace satelital

La interfaz grafica cuenta con tonos de alerta, para esto se implementa un potenciómetro para variar el volumen de acuerdo a la intensidad deseada.

Todos estos datos se pueden ubicar en la siguiente figura.

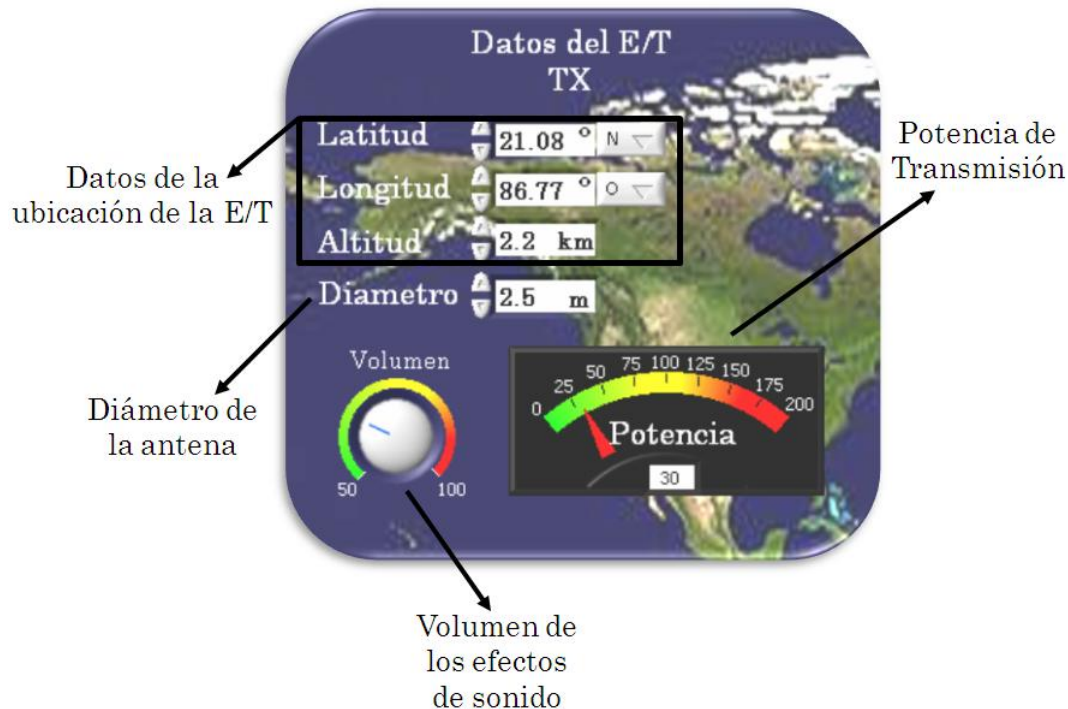


Fig. 3.3: Datos de entrada con respecto a la estación transmisora

Datos de entrada del Satélite y del codificador

Se asignaran los siguientes datos, para establecer la comunicación satelital, de acuerdo al servicio deseado.

- Selecciona el satélite deseado de operación (última actualización de los Satélites existentes en el 2012).
- Selecciona la Banda de operación de acuerdo a la frecuencia del transmisor. Para mayor información ver en esta tesis apartado 2.8.
- Selecciona la potencia del transponedor, esta es asignada por los propietarios del satélite de acuerdo a la posición del receptor.
- Introduce la frecuencia de operación en MHz de acuerdo a la banda que seleccionaste, en la parte inferior aparecerá el rango de frecuencias permitida. Si la frecuencia seleccionada no está dentro del rango permitido se activara el indicador y marcara error en la frecuencia, realiza los cambios necesarios.
- Introduce el FEC y el S.R. para la configuración del codificador, una vez que seleccionaste estos dos datos de entrada se calcularan D.R. y el ancho de banda.

Recuérdese que los datos establecidos para codificar serán los mismos que se configuraran para decodificar.

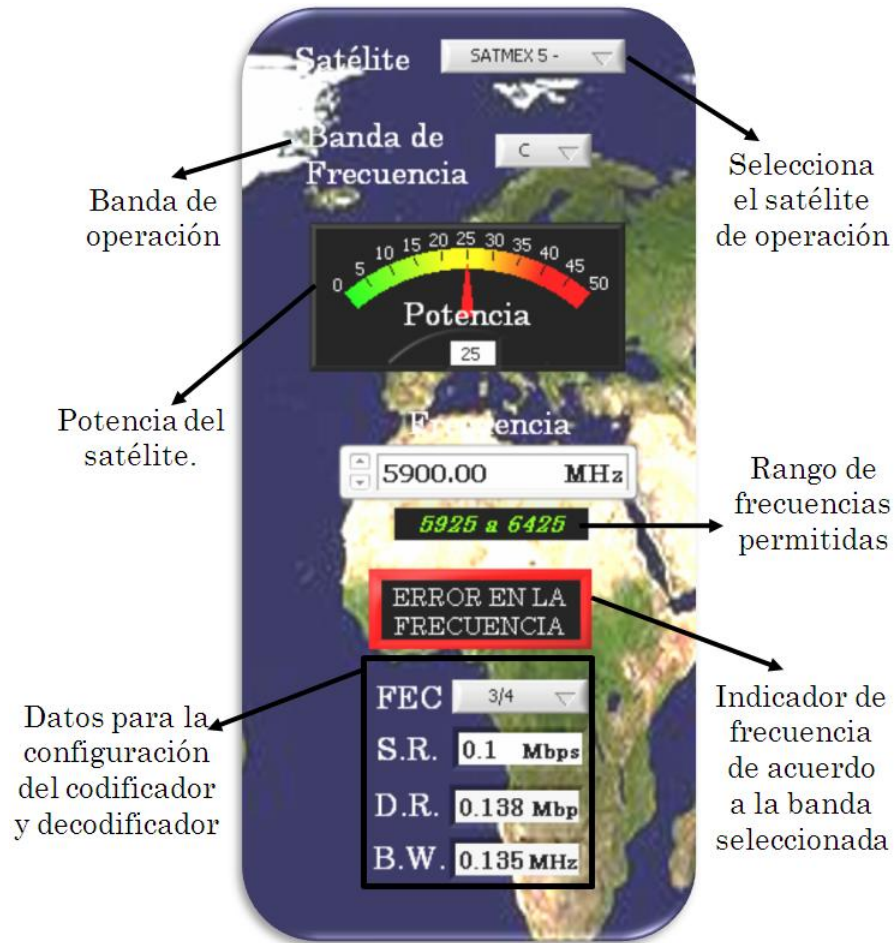


Fig. 3.4: Datos para seleccionar las características del satélite a interconectar

Datos de entrada de la estación terrena receptora.

Los datos de entrada necesarios de la estación terrena receptora serán los siguientes.

- Datos geográficos de la ubicación de la E/T, Latitud, longitud y altitud. Con estos datos se podrá ubicar la estación receptora el globo terráqueo.
- Otro valor de entrada necesario es el diámetro de la antena receptora.
- La frecuencia de recepción es calculada por la interfaz grafica, de acuerdo a la frecuencia de transmisión.

Para conocer si los datos de entrada son aceptables o que tan lejos están de una excelente comunicación satelital se implementa un indicador de cobertura satelital, logrando conocer la intensidad de la señal desde el Tx hasta el Rx.



Fig. 3.5: Datos de entrada con respecto a la estación receptora

Datos de salida de la interfaz grafica.

Con los valores de entrada del transmisor, receptor y datos de operación del satélite, la interfaz grafica calculara el valor de la distancia, latencia, ganancia, ancho de haz, PIRE, factor de calidad C/Nup y las atenuaciones de la propagación de la señal, de lado derecho los datos del receptor y de lado izquierdo los del transmisor. Los valores de azimut y elevación serán para orientar la antena al satélite de acuerdo a la posición geográfica que se encuentre. Las siguientes figuras muestran los datos de salida de la interfaz de acuerdo a lo expresado anteriormente.

Finalmente se obtiene el valor de C/N el cual indicara la confiabilidad que se tendrá si se realiza el enlace satelital bajo las condiciones y con los parámetros de entrada. De esta manera recuérdese que en el apartado 2.12 se estudio las condiciones de C/N para determinar que tan aceptable es el enlace satelital.

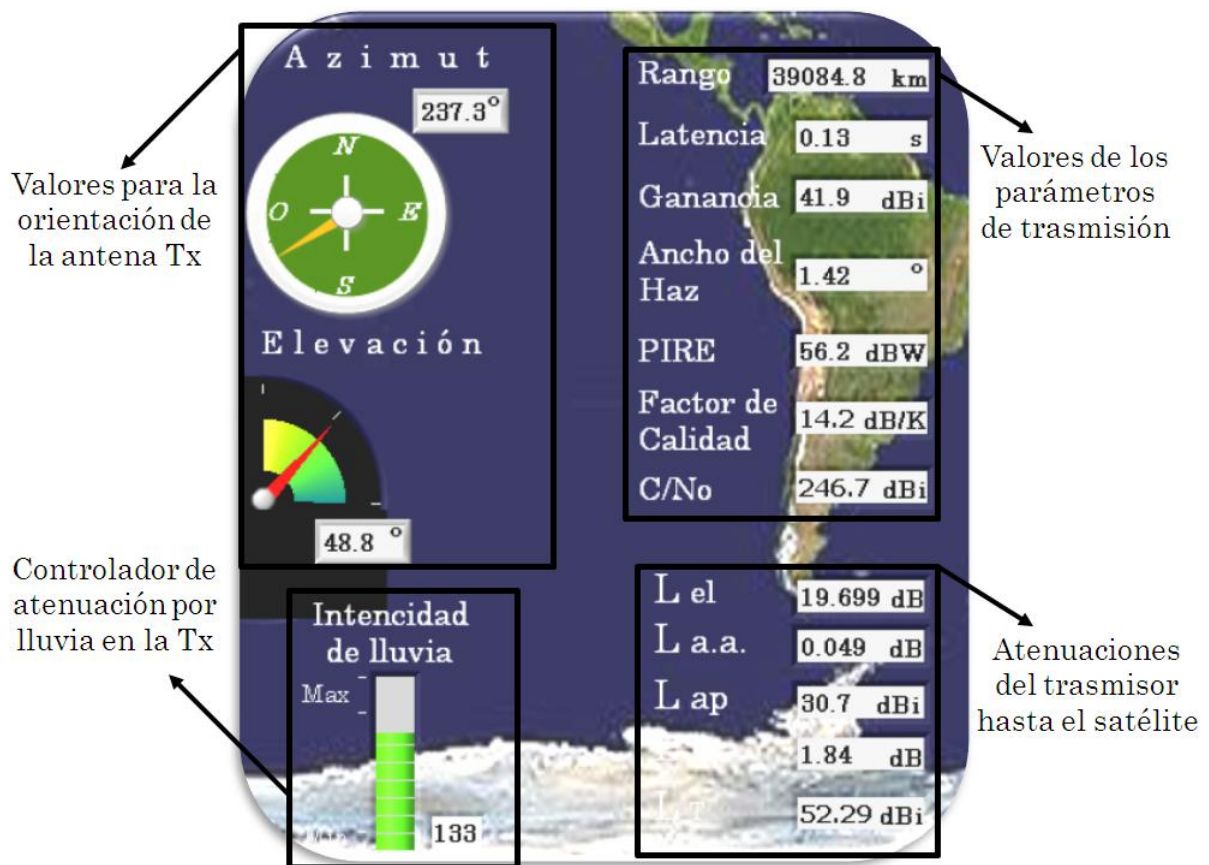


Fig. 3.6: Datos de salida de la interfaz grafica, parámetros y atenuaciones



Fig. 3.7: Valor de C/N como resultado del enlace satelital

3.5.1. Algoritmo del Cálculo para un Enlace Satelital

Para encontrar el algoritmo de un enlace satelital se tiene el siguiente problema. Se desconoce si el enlace satelital es aceptable con los datos de entrada que el usuario proporcione, para saber si es aceptable el enlace contamos con el valor de la C/N del sistema, la cual debe cumplir con la siguiente condición.

$$C/N < 8dB = Error$$

$$C/N > 7,99dB = Aceptable$$

De esta manera conocemos si el sistema será efectivo, una vez que plantemos el problema y sabemos cómo atacarlo el algoritmo quedaría de la siguiente manera.

Condición	Ejecución
Inicio	
Lea	Datos del usuario
Calcule	$\frac{C}{N} = \frac{1}{\left[\frac{C}{N}_{Subida} \right]^{-1} + \left[\frac{C}{N}_{Bajada} \right]^{-1}}$
Imprima	Valor de la C/N
Fin del programa	

Tabla 3.1: Algoritmo para Calcular el valor de la C/N de un enlace satelital

3.5.2. Diagrama de Flujo

Como primera etapa en la programación se declaran las constantes de la interfaz, posteriormente se clasifican los valores de entrada que el usuario manipulara y los valores de salida internos y externos. Los valores de salida internos, son cálculos intermedios que se necesitan para llevar al valor final de la ecuación, estos solo se calculan como un proceso de las ecuaciones, pero no se muestran en la interfaz gráfica. Los valores de salida externos, son los valores que obtienen los parámetros que se muestran como ayuda al usuario.

Para cada uno de los bloques de programación se conoce cuáles son sus elementos de entrada y los de salida con la variable indicada en el capítulo II Cálculos de un enlace satelital.

El siguiente diagrama a flujo es la estructura de la programación con la instrumentación virtual de LabVIEW.

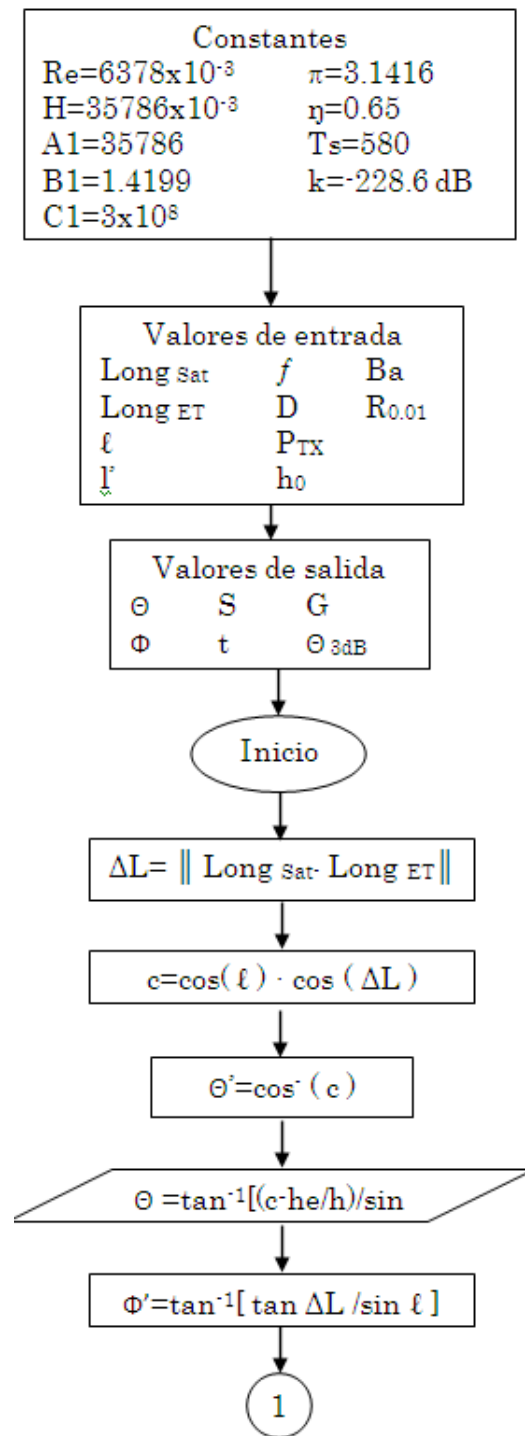


Fig. 3.8: Diagrama de flujo para la programación de la interfaz grafica.

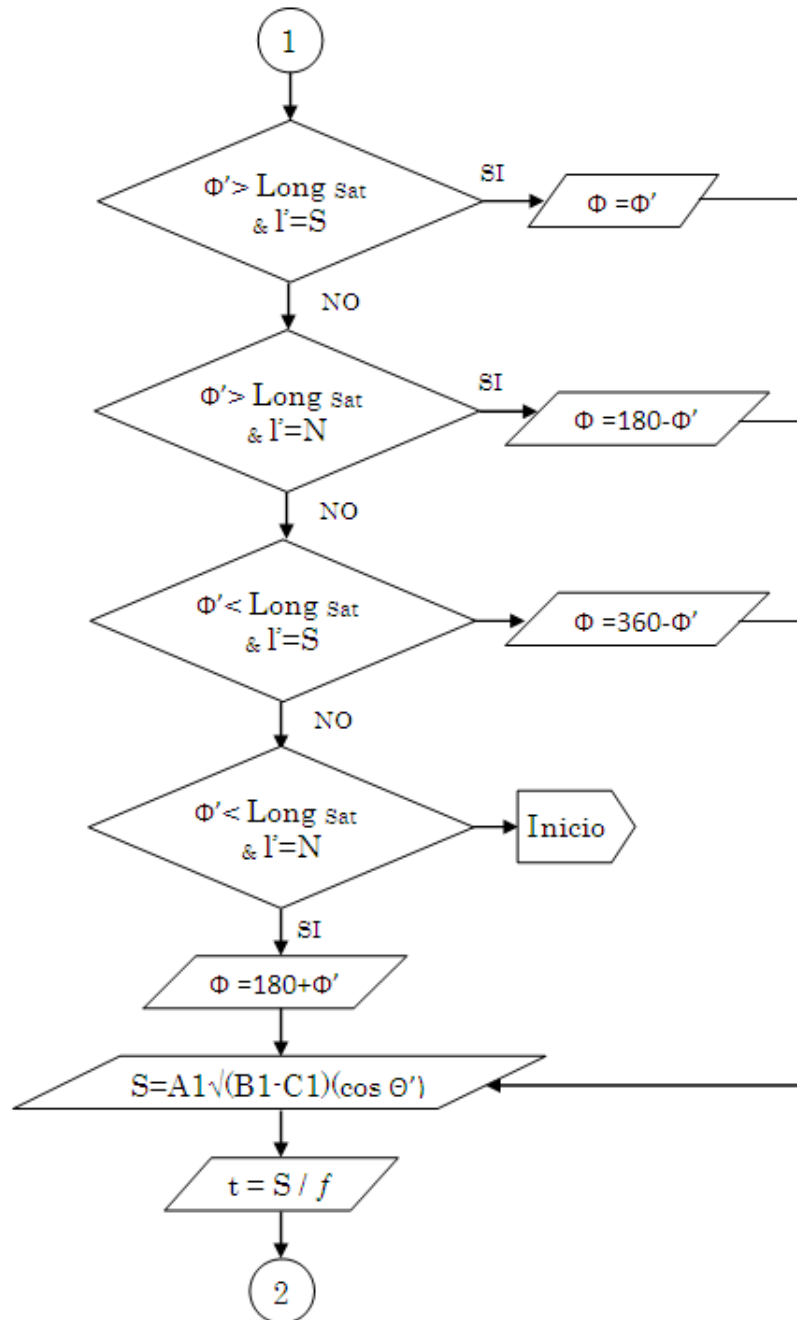


Fig. 3.9: Segunda parte del diagrama de flujo para la programación de la interfaz grafica.

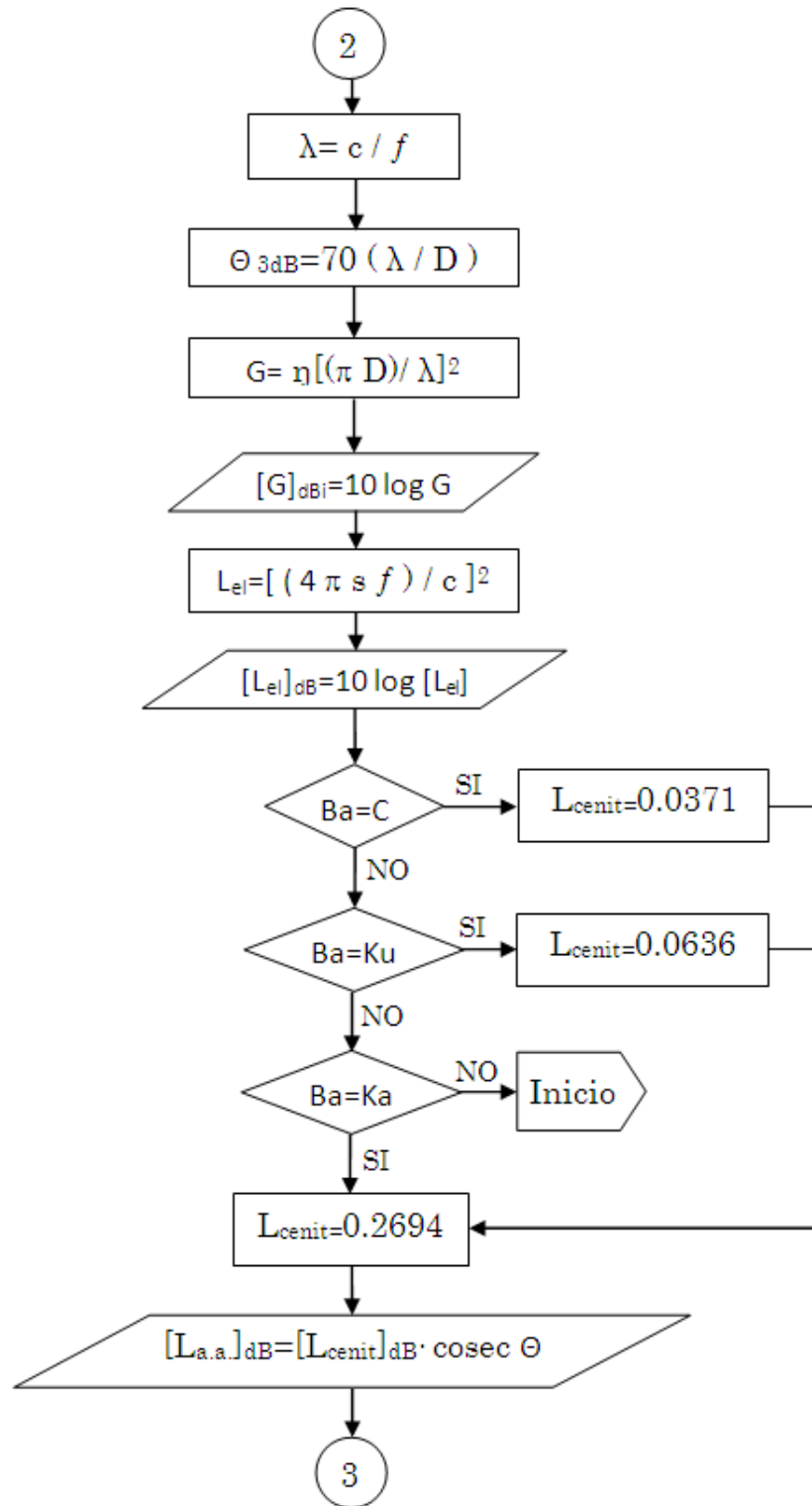


Fig. 3.10: Tercera parte del diagrama de flujo para la programación de la interfaz grafica.

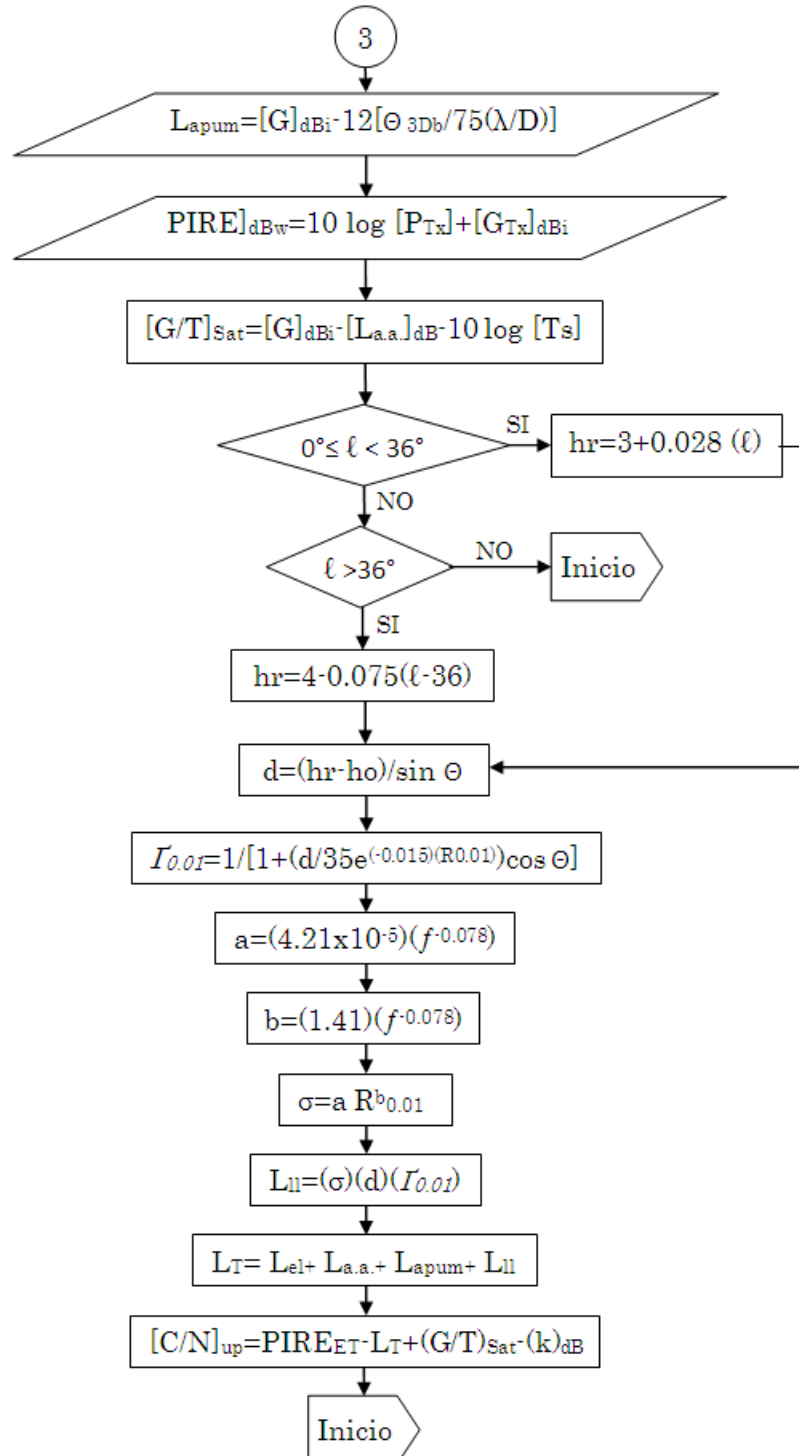


Fig. 3.11: Finalización del diagrama de flujo para la programación de la interfaz grafica.

3.6. Conclusiones

En este capítulo se desarrolló la interfaz gráfica, aplicando todas las expresiones matemáticas del capítulo anterior, se describe como fue creada la interfaz y así mismo se especifica su estructura, logrando orientar al usuario para una correcta manipulación. Cabe mencionar que se especifica el diagrama de flujo para comprender la programación de la interfaz gráfica.

La interfaz grafica no sería válida si no se pudiera a prueba es por eso que en el siguiente capítulo se estudiará un enlace satelital practico para poder comparar la simulación de un enlace satelital y un enlace practico a nivel industrial.

Capítulo 4

Enlace Satelital Práctico

4.1. Introducción

En este capítulo se analiza un enlace satelital desde el enfoque práctico, así como los equipos necesarios para realizar dicho enlace, el proceso de la transmisión y recepción, la conexión de los equipos y al termino del capítulo se anexan los datos de un enlace en vivo realizado por Telecomunicaciones de México (TELECOMM).

Recuérdese que un sistema de comunicación satelital existen dos enlaces el de transmisión (como enlace de subida), y el del receptor (como el enlace de bajada), cada enlace con equipos diferentes, pero bajo una misma configuración. Los servicios de analógicos ya son historia en la actualidad todo servicio es de tipo digital esto trajo como causa, la implementación de menos equipos y por su puesto la reducción en tamaño de una forma impresionante.

4.2. Equipos para el Enlace

Los equipos a emplear para el desarrollo de un enlace satelital son los siguientes.

4.2.1. Equipos para Transmitir al Satélite

Codificador

Convertidor de equipo que varía la forma de onda de una señal analógica a un tren de bits, de acuerdo a una técnica del fabricante, para poder ser enviada por un canal de transmisión, con etapas de filtrado y amplificación.

Convertido de Subida

Trasforma la señal de Frecuencia Intermedia a Rádio Frecuencia, por medio de una portadora.

HPA

HPA¹ Amplifica la señal de radiofrecuencia para que llegue hasta el satélite.

Antena Transmisora

Se encarga de radiar las ondas electromagnéticas con dirección al satélite.

4.2.2. Equipo de Recepción Satelital

Decodificador

Convierte el código binario a la señal analógica original del usuario.

LNB

LNB Equipo que amplifica las ondas captadas por la antena y al mismo tiempo transforma la frecuencia a 1Ghz.

Antena Receptora

Capta la mayor cantidad de ondas electromagnéticas de los sistemas satelitales.

¹Del ingles, High Power Amplifier en castellano amplificador de alta potencia

4.3. Conexión de Equipos

Recibir una señal satelital es muy fácil y no es costoso como se podría pensar, existen canales sin encriptación, de esta manera podemos tener acceso a ellos. Al contrario que la transmisión si se necesita de equipo calificado y es más costoso así como apuntar a un satélite es ilegal por tanto solo personal dadas de alta puede transmitir sin ningún problema, es de suma importancia conocer los equipos y saber cómo están interconectados ver figura siguiente.

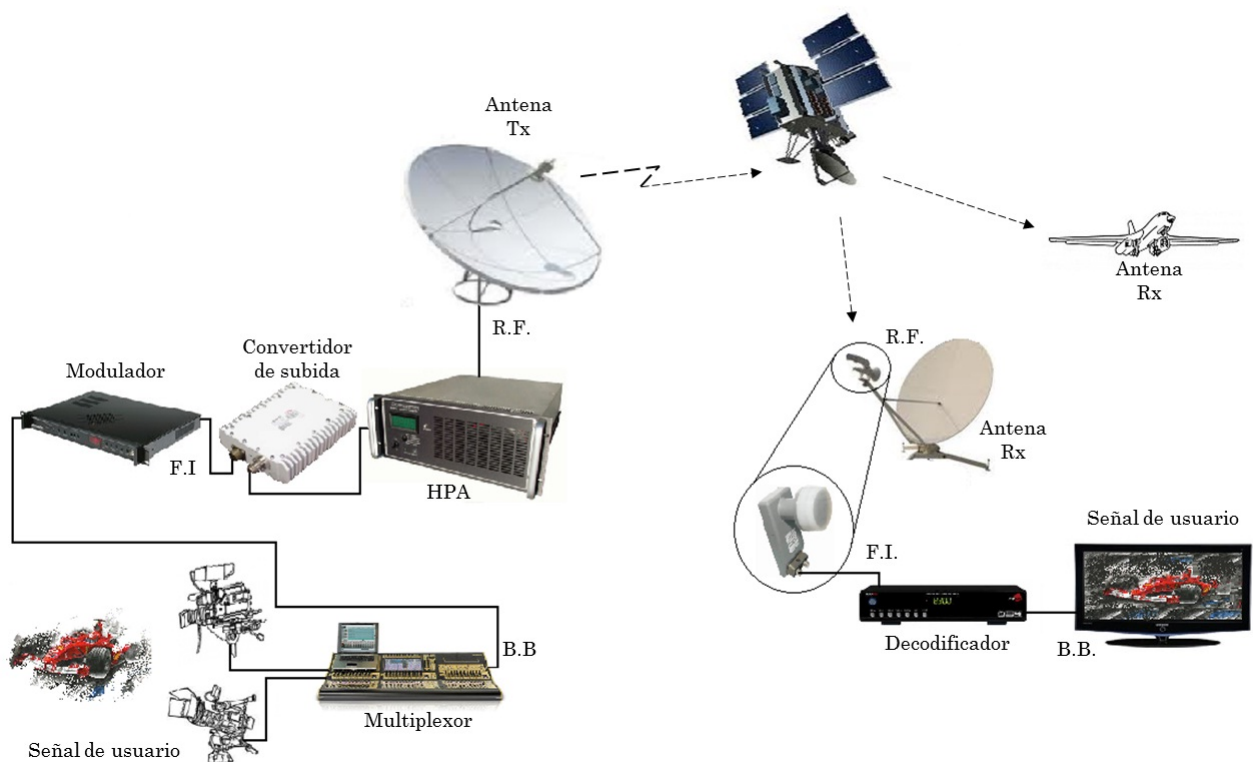


Fig. 4.1: Diagrama ilustrado de los equipos para desarrollar un enlace satelital completo.

4.4. Desarrollo del Enlace

El siguiente diagrama de Flujo, es el proceso para realizar un enlace satelital satisfactorio.

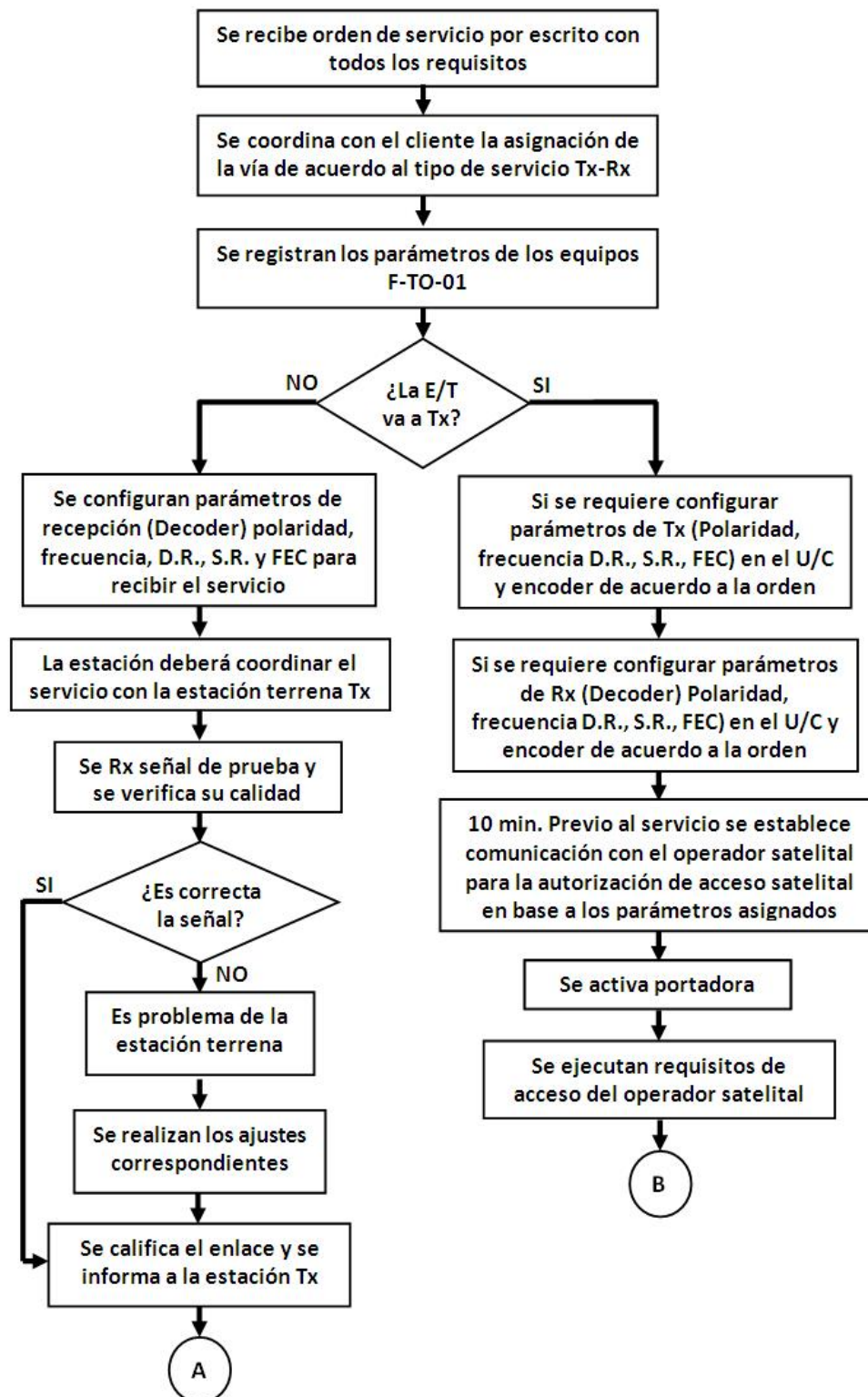


Fig. 4.2: Diagrama de flujo del proceso para tener un enlace exitoso

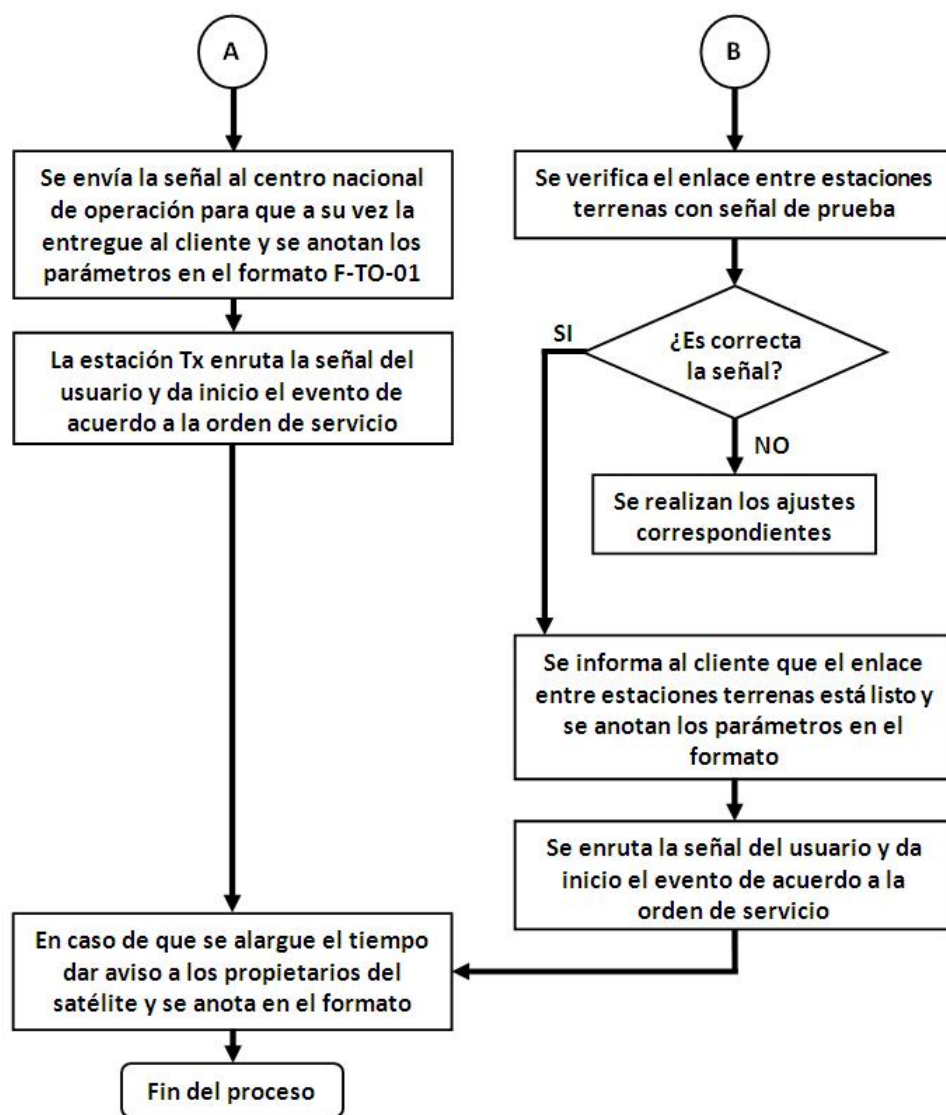


Fig. 4.3: Continuación del diagrama de flujo del proceso para tener un enlace exitoso

4.5. Enlaces Prácticos Desarrollados por la Empresa Telecomm

Para poder saber si los valores de salida de la interfaz gráfica son confiables, se realizaron dos enlaces prácticos con el equipo de la empresa Telecomm¹.

- Primer enlace satelital en la banda de frecuencias C y con el satélite Satmex V.
- Segundo enlace satelital en la banda de frecuencias Ku y con el satélite Satmex VI.

Dichos enlaces fueron realizados por el personal de la empresa y se anotan los resultados de los parámetros en las bitácoras las cuales fueron proporcionadas para la comparación de la interfaz grafica.

Datos climatológicos para los enlaces

Banda C

Los datos climatológicos para el enlace en banda C son: temperatura 24° C, humedad 31 %, presión 1,027.43mb, visibilidad 16.1 Km y sin lluvia.

Banda Ku

Los datos climatológicos para el primer enlace son: temperatura 24° C, humedad 31

Los equipos de operación son los siguientes.

- Codificador y decodificar Costing con FI 140 MHz a 170 MHz con tasa de codificador de 1/2 3/4 7/8
- Guía de onda Heliax helicoidal de acuerdo a la frecuencia de operación.
- Antenas Scientific Atlantic con los parámetros expresados en la tabla.
- Hpa Varian de 400 watts con osciladores de 5.9 a 6.4 Ghz

¹Telecomunicaciones de México, empresa mexicana que desarrolla enlaces satelitales, rentando sus servicios al gobierno mexicano ó cualquier otro tipo de cliente a nivel internacional.



PROCESO DE UN SERVICIO

Rev. 1	Código: F-TO-01	Fecha de Implantación: 07-ABRIL-2012
--------	-----------------	--------------------------------------

REGISTRO DEL SERVICIO

FECHA: 07-ABRIL-2012 NUM. DE FOLIO U OFICIO: 202-563-TUL-21

GERENCIA RESPONSABLE: GERENCIA DEL CENTRO TÉCNICO OPERATIVO TULANCINGO COORDINACIÓN: OPERACIÓN

TIPO DE SERVICIO: Fijo ☒ Transportable ☐

OPERADOR SATELITAL: SATMEX

CLIENTE: CERROPE TV ESTATAL EN MEXICO D.F. ESTACIONES TERRENAS

ORIGEN: CALCON A.ROO DESTINO: T.C.T PISO 2 TX: CHICHEN - RITA RX: TUL-5

TIPO DE SERVICIO		DATOS DE SERVICIO DIGITAL		BANDA	
DIGITAL	SATÉLITE	FEC:		C	KU
☒	SATMEX V	Symbol RATE:	3.33 Mbps	☒	
Ancho de Banda	4.5 MHz	DATA RATE:	4.603 Mbps		

TRANSPONDEDOR	LONGITUD. TX	LATITUD. TX	LONGITUD. RX	LATITUD. RX
B3C SLOT B	86.77°W	21.08°N	98.3°O	20.08°N

PARÁMETROS	VALOR Tx	VALOR Rx
	PREDETERMINADO	PREDETERMINADO
AZIMUT	238°	223°
ELEVACIÓN	48.5°	59.5°
DIÁMETRO DE LA ANTENA	2.5 mts.	2.5 mts.
GANANCIA DE LA ANTENA	38 dbi	45 dbi
POTENCIA EN HPA	30 WATTS	25 W
FRECUENCIA	6168.75 MHz	3943.75 MHz
NIVEL DE SINCRONÍA		
EB/N0	11.7 db	
C/N	10.5 db	

HORARIOS					
PORTADORA	SERVICIO		AMPLIACIÓN		PORTADORA
(HABILITADA)	INICIO	FIN	INICIO	FIN	(DESHABILITADA)
11:45	11:45	13:15	13:15	13:30	13:30

CALIFICACIÓN DEL ENLACE: Operador: GERARDO PEREZ CAMPOS VÍDEO: 4
AUDIO: 4

CALIFICACIÓN DEL CLIENTE: Nombre: PUIG DE CERROPE VÍDEO: 4
AUDIO: 4

OBSERVACIONES: AMPLIACION DE HORARIO CON FAX DE LA COORDINACION DE TV OCAQUAL ANTES 11:45 A 13:15 HRS.

RECIBE EL SERVICIO.

CLIENTE: NOMBRE Y/O FIRMA MARIO TELÉZ JIMÉNEZ CARGO

POR TELECOMM. EJECUTO: NOMBRE GERARDO PEREZ CAMPOS FIRMA

DIRECCIÓN TÉCNICA

1 JUN 2012

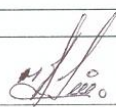
Telecomunicaciones de México

Sistema de Gestión de la Calidad

GERENCIA TÉCNICA DEL

TELEPUERTO DE

TULANCINGO E ICO



Página 1 de 1

Fig. 4.4: Enlace satelital en la banda de frecuencias C y con el satélite Satmex V.



PROCESO DE UN SERVICIO

Rev. 1	Código: F-TO-01	Fecha de Implantación: 15-JUNIO-2012
--------	-----------------	--------------------------------------

REGISTRO DEL SERVICIO

FECHA: 15-JUNIO-2012 NUM. DE FOLIO U OFICIO: 202 -48-TUL-23

GERENCIA RESPONSABLE:	GERENCIA DEL CENTRO TÉCNICO OPERATIVO TULANCINGO	COORDINACIÓN:	OPERACIÓN
TIPO DE SERVICIO:		Fijo ☒	Transportable ☐

OPERADOR SATELITAL: INTELSAT

CLIENTE: CEPROPIE T.V. ESTATAL ESTACIONES TERRENAS

ORIGEN: MEXICO D.F. DESTINO: HERMOSILLO SON. TX: TUL-8 RX: MÓVIL HERMOSILLO

TIPO DE SERVICIO	DATOS DE SERVICIO DIGITAL	BANDA
DIGITAL SATELITE	FEC: <u>3/4</u>	C KU
☒ <u>SATMEX 6</u>	Symbol RATE: <u>3.44 Msps</u>	☐ ☒
Ancho de Banda: <u>4.64 MHz</u>	DATA RATE: <u>4.76 Mbps</u>	

TRANSPONDEDOR	LONGITUD. TX	LATITUD. TX	LONGITUD. RX	LATITUD. RX
<u>13 K</u>	<u>98.3° W</u>	<u>20.08° N</u>	<u>110.9° W</u>	<u>29° N</u>

PARÁMETROS	VALOR Tx PREDETERMINADO	VALOR Rx PREDETERMINADO
AZIMUT	<u>217°</u>	<u>184°</u>
ELEVACIÓN	<u>61°</u>	<u>56°</u>
DIÁMETRO DE LA ANTENA	<u>7.3 m</u>	<u>2.5 m</u>
GANANCIA DE LA ANTENA	<u>50.7 dBi</u>	<u>46 dBi</u>
POTENCIA EN HPA	<u>15 W</u>	<u>15 W</u>
FRECUENCIA	<u>14960 MHz</u>	<u>11960 MHz</u>
NIVEL DE SINCRONÍA		
EB/NO	<u>14.6</u>	
C/N	<u>13.4 dB</u>	

HORARIOS					
PORTADORA	SERVICIO		AMPLIACIÓN		PORTADORA
(HABILITADA)	INICIO	FIN	INICIO	FIN	(DESHABILITADA)
<u>10:00</u>	<u>10:00</u>	<u>13:30</u>	<u>12:30</u>	<u>13:30</u>	<u>13:30</u>

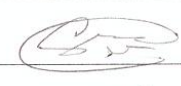
CALIFICACIÓN DEL ENLACE: Operador: JOSÉ MANUEL ORDAZ C. VÍDEO: 4
 AUDIO: A-1-4, A-2-4

CALIFICACIÓN DEL CLIENTE: Nombre: PUIG DE CEPROPIE VÍDEO: 4
 AUDIO: A-1-4, A-2-4

OBSERVACIONES: AMPLIACIÓN DE HORARIO CON FAX DE LA COORDINACIÓN DE T.V. OCASIONAL. ANTES 10:00 A 12:30 HRS.

RECIBE EL SERVICIO.

CLIENTE: NOMBRE Y/O FIRMA PUIG DE CEPROPIE CARGO



POR TELECOMM TELEGRAFOS

EJECUTO 

13 JUN 2012

Telecomunicaciones de México

Sistema de Gestión de la Calidad

TELEPUERTO DE TULANCINGO E IGO

JOSÉ MANUEL ORDAZ C. FIRMA



Página 1 de 1

Fig. 4.5: Enlace satelital en la banda de frecuencias Ku y con el satélite Satmex VI.

4.6. Conclusiones

En este capítulo se estudio la estructura de la conexión de los equipos para un enlace satelital completo, de igual manera se describen los equipos y su funcionamiento, anexando un diagrama de flujo de el proceso tan estricto que se debe de cumplir para poder realizar un enlace satelital satisfactorio, así mismo se realizo un enlace satelital real a nivel industrial con el equipo de Telecomunicaciones de México, con la finalidad de comparar la interfaz gráfica.

Con el estudio de estos capítulos y la implementación de la interfaz grafica de esta tesis podemos pasar al siguiente capítulo el cual fue diseñado para llegar a una sola conclusión y análisis de este trabajo.

Capítulo 5

Conclusiones

5.1. Introducción

Es importante comparar los resultados de la interfaz grafica con los parámetros de un enlace real, para saber que tan confiable es el sistema propuesto a la realidad. Cabe mencionar, que en este tipo de sistemas de ingeniería, los resultados teóricos y simulados tienen una tendencia a la similitud, ya que los segundos son generados a partir de modelos matemáticos, pero por otra parte es preciso enfatizar que los resultados obtenidos en sistemas prácticos difieren en cierto grado a los resultados simulados/teóricos, esa diferencia comúnmente se conoce como margen de error, (descrito en la siguiente sección), el cual se compara la interfaz gráfica y un enlace en vivo con los equipos de Telecomunicaciones de México (Empresa a nivel industrial certificada por Intelsat) quienes prestan su servicio a enlaces gubernamentales o cualquier tipo de enlace en el continente americano.

Otro aspecto muy importante que se debe de considerar son las atenuaciones por tipos de cables, equipos y otros aspectos naturales, ya que la atenuación es tan variable que una simulación sería muy alejada a la realidad. Mientras que la propagación de las ondas electromagnéticas partiendo de la salida de la antena trasmisora y llegando hasta la entrada de la antena se ha estudiado por las ciencias de ingeniería como la IEEE que establecen formulas universales para el cálculo de un enlace satelital ya que los resultados con la realidad tienen un margen de error mínimo y es de gran apoyo para tener un punto de partida.

5.2. Comparación de Resultados

Si los parámetros de entrada son iguales, se puede realizar una comparación de resultados de la interfaz gráfica con los de un enlace real. De esta manera se conoce el margen de error de salida de la interfaz. Se realizaron dos enlaces en diferente banda de frecuencia y con satélites distintos con la finalidad de conocer el error total en la interfaz.

En las siguientes tablas se clasifican los valores por parámetros para analizar cada uno de ellos.

Parámetros	Valor real práctico		Valor de Interfaz		Margen de error	
	TX	RX	TX	RX	TX	RX
Azimut	238°	223°	237.3°	222.9°	0.7°	0.1°
Elevación	48.5°	59.5°	48.8°	59.01°	0.3°	0.49°
Frecuencia MHz	6168.75	3943.75	6168.75	3943.75	0	0
B.W.		4.5 MHz		4.5 MHz		0 MHz
D.R.		4.603 Mbps		4.603 Mbps		0 MHz
Ganancia A.	38 dBi	45 dBi	42.3 dBi	47.9 dBi	4.3 dBi	2.9 dBi
C/N		10.5 dB		10.8 dB		0.3 dB

Tabla 5.1: Enlace satelital en Banda C, enlazado al satélite Satmex V.

La siguiente comparación de la interfaz con respecto al enlace real es en Banda Ku, enlazada al satélite Satmex VI.

Parámetros	Valor real práctico		Valor de Interfaz		Margen de error	
	TX	RX	TX	RX	TX	RX
Azimut	217°	184°	217.4°	184.3°	0.4°	0.3°
Elevación	61°	56°	61.1°	56.09°	0.1°	0.09°
Frecuencia	14960 MHz	11960 MHz	14960 MHz	11960 MHz	0 MHz	0 MHz
B.W.		4.64 MHz		4.64 MHz		0 MHz
D.R.		4.76 Mbps		4.76 Mbps		0 MHz
Ganancia A.	50.7 dBi	46 dBi	59.3 dBi	48 dBi	8.6 dBi	2 dBi
C/N		13.4 dB		13.8 dB		0.4 dB

Tabla 5.2: Enlace satelital en Banda Ku, enlazado al satélite Satmex VI.

5.3. Análisis

Con los valores obtenidos como margen de error podemos analizar la interfaz grafica de la siguiente manera.

Valores de Orientación

Tenemos una variación menor a 1° . Esto no afecta al enlace ya que podemos variar $\pm 2^\circ$ del origen para mejorar la señal portadora consiguiendo un mejor valor de aislamiento entre portadoras vecinas.

Valores del Decodificador

En estos valores no puede existir variación mínima ya que de cambiar la frecuencia no se podrá recibir la información deseada y mucho menos cambiar el valor de D.R. si no la señal de entrada será incorrecta y el decodificador no tendrá los parámetro para decodificar la señal.

Valor de Ganancia en las Antenas

El valor de la ganancia en el enlace real fue proporcionado por el fabricante de la antena, este valor fue calculado por las pruebas que tiene que pasar una antena para ser dada de alta como antena satelital. Los valores que el fabricante da son de forma ideal, pero este valor puede cambiar con el paso del tiempo por cuestiones de cuidado y de acuerdo a la superficie donde se encuentre instalada. Por estas causas el valor de la interfaz con respecto a la del enlace real tiene mucha variación pero se puede confirmar que el valor es adecuado ya que determina el PIRE y este a su vez transforma a la C/N del enlace.

Valor de C/N

Este es el valor más importante ya que si es menor a 7 dB no se puede decodificar. Entre mayor sea mejor será la señal de información, aunque existe un valor que se a obtenido en la práctica como máximo y es de 17 dB. En el caso de la interfaz existe un margen de $\frac{1}{2}$ db lo que garantiza que los valores de salida de la interfaz gráfica son aceptables y sobre todo la interfaz gráfica es confiable.

5.4. Conclusiones

En este trabajo se ha mencionado la importancia que hoy en día tienen los enlaces satelitales ya que la comunicación satelital brinda rapidez confiabilidad y privacidad, en cualquier lugar geográfico e incluso si no existe otro sistema de comunicación.

Diseñar el cálculo de un enlace satelital previamente, permite conocer con mayor

exactitud los parámetros que representan calidad en el enlace, además de una reducción de costos, reduciendo el tiempo de renta para realizar pruebas con el satélite.

La implementación de un software que calcule el diseño matemático en LabVIEW, es un tema novedoso, ya que los equipos para realizar un enlace son muy costosos. La interfaz gráfica diseñada en este trabajo cumple con los valores de salida de un enlace real, esto permite que se pueda implementar a nivel industrial, reduciendo tiempo y costos y así mismo resolviendo el problema de que no se puede recibir la señal, por desconocen algunos parámetros de acuerdo a las características donde se realiza el enlace satelital.

El desarrollar el cálculo de un enlace satelital de forma teórica-matemática, sería tardado, mientras que manipular la interfaz reduce el tiempo, obteniendo valores confiables ya que fue sometida a pruebas con enlaces reales, de esta manera es de gran apoyo para toda empresa de telecomunicaciones satelitales.

5.5. Trabajo Futuro

Una de las ventajas de LabVIEW como software de programación de la familia de National Instruments, es una fácil integración con hardware, específicamente con tarjetas de medición, adquisición y procesamiento de datos, esto permitirá poder conectar la interfaz gráfica con los equipos del enlace, de una forma más específica el trabajo futuro es implementarle a la antena el rastreo del satélite de esta manera quien manipule la interfaz sabrá el valor del PIRE y no se perderá la comunicación del satélite en movimientos orbitales, además de orientar la antena al satélite automáticamente y considerar todas las facilidades que la interfaz grafica a demostrado.

Estas aplicaciones ya la realizan equipos, los cuales son costosos y no solo eso estos equipos en tiempo de tormentas eléctricas tienen que ser apagados y manipular la antena de forma manual, no se dice que los equipos implementados para la conexión de la interfaz a la antena soporten estas descargas lo que se plantea es que se puede evitar y por trabajar con bajo voltaje tendrá una mínima probabilidad a comparación de los equipos que trabajan con un alto voltaje y necesitan un sistema de tierra más sofisticado.

Ya existen avances para este trabajo futuro la siguiente etapa es investigar como operar las tarjetas de adquisición de datos, para en un tiempo futuro no tan lejano mantener el sistema en pruebas y avalar que el sistema cumple con los propósitos.

Bibliografía

- [1] Rodolfo Neri Vela *Comunicaciones por Satélite* Ediciones Ciencias de Ingenierías THOMSON, 2003.
- [2] Balsking Annabel. *Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones*. Sitio Web 2008. http://ocw.uis.edu.co:8080/educommons/ingenieria_electronica/comunicaciones/satelitales/pdf.
- [3] Blake Roy, Sánchez Fragoso Francisco, Vargas Sandoval Federico. *Sistemas satelitales*. Thomson, Segunda edición, 2002.
- [4] Boiccedo Andy. *Departamento de investigación, Universidad de Almería*. Sitio Web 2008. <http://www.uv.es/~hertz/hertz/Docencia/teoria/telecomunicaciones/pdf>.
- [5] Desbiez Arnaud. *Manual de Telemetria*. Editorial CIDOB-DFID, 2009.
- [6] Frenzel Louis E. *Sistemas electrónicos de comunicaciones*. Alfaomega, 2005.
- [7] García L., García Alegre M. C., Guinea D., Pozo Ruiz A., Sandoval F. y Ribeiro A. *Instituto de Automática Industrial, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid España*. Sitio Web 2006. <http://www.iai.csic.es/users/gpa/postscript/Pozo-Ruz00a.pdf>.
- [8] Manzano Agugliaro Francisco y Manzano Agugliaro Gil. *Aplicaciones satelitales a la Topografía por satélite*. Universidad de Almería, Servicio de Publicaciones, 2003.
- [9] Martín de García Pedro. *Pan American Health Organization, Area de Sistemas de información Multiplexaciones* sitio Web 2007.
- [10] Misra Pratap. *Satellite Communication System: Signals, Measurements, and Performance*. Per Enge, 2003.
- [11] Núñez García M., Valbuena Durán A. y Velasco Gómez F. *Aportación tecnológica, México*. Sitio Web 2006.
- [12] Rosado Carlos. *Comunicación por satellite*. Limusa, 2002.

-
- [13] <http://www.google/imagenes>
 - [14] Sigfread Benjamin. *Departamento de ciencias y tecnología, Universidad UCINF*. Sitio Web 2006. http://webpages.ull.es/users/amanza/SCT/S20_Teoria.pdf.
 - [15] Tomasi Wayne. *Sistemas de comunicaciones electrónicas*. Pearson Educación, 1996.