

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA**

UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”

**“RED DE COMUNICACIONES PARA LA TRANSMISIÓN DE
VOZ VÍA SATÉLITE USANDO ACCESO TDM -TDMA PARA
EL ESTADO DE GUERRERO”**

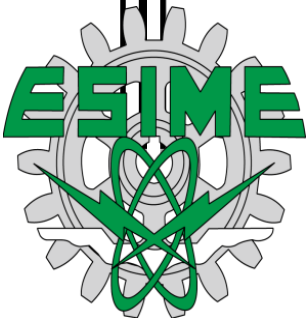
SEMINARIO

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA**

**PRESENTAN:
MARTÍNEZ PÉREZ JESÚS ERNESTO
RAMÍREZ ROJAS RICARDO
SÁNCHEZ CHÁVEZ RAÚL**

**ASESORES:
ING. FRANCISCO HERNÁNDEZ RANGEL
M. EN C. JOSÉ ERNESTO ROJAS LIMA**

CIUDAD DE MÉXICO, AGOSTO 2018



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"

REPORTE TÉCNICO

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN
DEBERÁ(N) DESARROLLAR**

INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA
SEMINARIO DE TITULACIÓN
C. MARTÍNEZ PÉREZ JESÚS ERNESTO
C. RAMÍREZ ROJAS RICARDO
C. SÁNCHEZ CHÁVEZ RAÚL

**"RED DE COMUNICACIONES PARA LA TRANSMISIÓN DE VOZ VÍA SATÉLITE USANDO
ACCESO TDM-TDMA PARA EL ESTADO DE GUERRERO"**


**DISEÑAR UNA RED DE COMUNICACIONES QUE PROPORCIONE EL SERVICIO DE VOZ PARA EL ESTADO
DE GUERRERO.**


JUSTIFICACIÓN
INTRODUCCIÓN
I INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN
VÍA SATÉLITE
II PARÁMETROS TÉCNICOS
III ESTACIÓN TERMINAL TERRENA
IV DIMENSIONAMIENTO DE LA RED
CONCLUSIONES
BIBLIOGRAFÍA
GLOSARIO DE TÉRMINOS

CIUDAD DE MÉXICO A 27 DE AGOSTO DE 2018.

ASESORES


ING. FRANCISCO HERNÁNDEZ RANGEL


M. EN C. JOSÉ ERNESTO ROJAS LIMA


DEPARTAMENTO
DR. SALVADOR RICARDO MENESÉS GONZÁLEZ
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA

Instituto Politécnico Nacional
Presente

Bajo protesta de decir verdad los que suscriben **Jesús Ernesto Pérez Martínez, Ricardo Ramírez Rojas y Raúl Sánchez Chávez** manifestamos ser autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales de la obra titulada **“RED DE COMUNICACIONES PARA LA TRANSMISIÓN DE VOZ VIA SATÉLITE USANDO ACCESO TDM-TDMA PARA EL ESTADO DE GUERRERO”**, en adelante **“La Tesis”** y de la cual se adjunta copia en 2 CD's, por lo que por medio del presente y con fundamento al artículo 27 fracción II, inciso b) de la Ley Federal del Derecho de Autor, otorgamos al **Instituto Politécnico Nacional**, en adelante **El IPN**, autorización no exclusiva para comunicar y exhibir públicamente total o parcialmente en medio digitales o en cualquier otro medio; para apoyar o complementar futuros trabajos relacionados con el tema de **“La Tesis”** por un periodo de **1 año** contado a partir de la fecha de la presente autorización, dicho periodo se renovará automáticamente en caso de no dar aviso expreso a **EL IPN** de su terminación.

En virtud de lo anterior, **El IPN** deberá reconocer en todo momento nuestra calidad de autores de **“La Tesis”**.

Adicionalmente, y en nuestra calidad de autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales de **“La Tesis”**, manifestamos que la misma es original y que la presente autorización no contraviene ninguna otorgada por el suscrito respecto de **“La Tesis”**, por lo que deslindamos de toda responsabilidad a **El IPN** en caso de que el contenido de **“La Tesis”** o la autorización concedida afecte o viole los derechos autorales, industriales, secretos industriales, convenios o contratos de confidencialidad o en general cualquier derecho de propiedad intelectual de terceros y asumimos las consecuencias legales y económicas de cualquier demanda o reclamación que puedan derivarse del caso.

Ciudad de México, a 17 de septiembre de 2018

Atentamente

JESÚS ERNESTO MARTÍNEZ PÉREZ

RICARDO RAMÍREZ ROJAS

RAÚL SÁNCHEZ CHÁVEZ

DEDICATORIA

Jesús Ernesto Martínez Pérez

A MI FAMILIA:

Mi Padre:

Sr. Isidro Ernesto Martínez Ramírez

Estaré toda la vida agradecido por todo lo que me has brindado, gracias por confiar en mí, darme tu apoyo incondicional y por ser pilar de mi formación personal y académica.

Mi Madre:

Sra. Perla Patricia Pérez Méndez

Gracias por todo el apoyo, amor y confianza que me has brindado. Gracias por creer en mi y motivarme para ser mejor persona cada día. Estaré toda la vida agradecido.

Mi Hermano:

Néstor Raziel Martínez Pérez

Esperando ser inspiración y motivación para que culmines tus estudios exitosamente y persigas todos tus sueños con entusiasmo.

A MI ASESOR:

Ing. Francisco Hernández Rangel

Gracias por el tiempo que nos dedicó para poder culminar este proyecto satisfactoriamente, también por compartir conmigo y mis compañeros su valioso conocimiento y experiencia.

A MIS COMPAÑEROS:

Ricardo Ramírez Rojas y Raúl Sánchez Chávez

El proceso para culminar este proyecto no fue sencillo, pero lo hemos logrado gracias a nuestro trabajo y dedicación. Gracias por brindarme su amistad.

Ricardo Ramírez Rojas

A MI FAMILIA:

Mi Padre:

Sr. Juan Martín Ramírez Verdura

Te doy las gracias por apoyarme, haberme impulsado a seguir adelante y esforzarme, sacrificarte para poder darme esta educación, te doy las gracias por creer en mí para lograr lo que en este momento soy.

Mi Madre:

Sra. María Elena Rojas Alcántara

Por haberme dado la vida, gracias por el apoyo incondicional día con día en esos momentos difíciles.

Mis Hermanas:

Helena Ramírez Rojas y Laura Ramírez Rojas

Gracias por su amor, cariño y confianza que me brindan al igual por siempre estar para mí y soportarme en esos momentos difíciles, de estrés y mal humor.

A MI ASESOR:

Ing. Francisco Hernández Rangel

Por fortalecer y acrecentar aún más el deseo de superación personal, por haberme brindado el tiempo y resolver mis dudas en cada momento.

A MIS COMPAÑEROS:

Jesús Ernesto Martínez Pérez y Raúl Sánchez Chávez

Gracias por aceptar las propuestas que hicimos, por corregir mis errores, confiar en mí para realizar este trabajo, haberse adaptado a mi estilo de trabajo y brindarme su amistad.

Raúl Sánchez Chávez

A mi Madre:

Sra. Margarita Chávez Lambros

Una vida no me alcanza para devolverte todo lo que has hecho por mí. Quiero darte las gracias por todo lo que me has dado, por creer en mí, por apoyarme para realizar mis estudios, en impulsarme día a día para llegar cada vez más lejos.

A MI ASESOR:

Ing. Francisco Hernández Rangel

Le agradezco su digna labor y le doy mi reconocimiento por fomentar la educación de generación en generación, inculcando valores y sembrando el conocimiento formando a mejores ingenieros.

A MIS COMPAÑEROS:

Jesús Ernesto Martínez Pérez y Ricardo Ramírez Rojas

Hemos llegado a la meta que teníamos como objetivo e incluso la hemos superado gracias a ustedes, quiero felicitarlos por todo el trabajo y esfuerzo realizado.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VI
OBJETIVO	VII
INTRODUCCIÓN	VIII
JUSTIFICACIÓN	X
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN VÍA SATÉLITE	1
1 Capítulo I: Introducción a los sistemas de comunicación vía satélite	2
1.1 Antecedentes teóricos de los satélites	2
1.2 Satélite	3
1.3 Sistemas satelitales.....	3
1.3.1 Subsistema de antenas	5
1.3.2 Subsistema de comunicaciones	5
1.3.3 Subsistema de energía eléctrica.....	7
1.3.4 Subsistema de control térmico.....	8
1.3.5 Subsistema de posicionamiento y orientación	8
1.3.6 Subsistema de propulsión	9
1.3.7 Subsistema de rastreo, telemetría y comando	10
1.3.8 Subsistema estructural	10
1.4 Órbitas satelitales.....	10
1.4.1 Clasificación de órbitas satelitales	11
1.4.2 LEO (Low Earth Orbit)	11
1.4.3 MEO (Medium Earth Orbit)	12
1.4.4 GEO (Geostationary Orbit)	12
1.4.5 HEO (High Elliptic Orbit)	12
1.4.6 Comparativa entre órbitas satelitales.....	12
1.5 Bandas de frecuencia en satélites	13
CAPÍTULO II: PARÁMETROS TÉCNICOS	15
2 Capítulo II: Parámetros técnicos	16
2.1 Antenas	16
2.1.1 Características de las antenas.....	16
2.1.1.1 Ancho de Banda.....	16
2.1.1.2 Impedancia.....	16
2.1.1.3 Directividad.....	17
2.1.1.4 Ganancia	18
2.1.1.5 Patron de radiación	18
2.1.1.6 Intensidad de la radiación.....	19
2.1.1.7 Polarización.....	19
2.1.1.8 Eficiencia	20
2.1.1.9 Ángulos de elevación y acimut	21
2.1.1.10 Rango.....	21
2.1.1.11 Atenuación.....	22
Atenuación en el espacio libre	22

Atenuación por dispersión.....	22
Atenuación por absorción.....	23
Atenuación por absorción atmosférica	24
Atenuación por lluvia	24
2.1.1.12 Tiempo de retardo y latencia.....	25
2.1.1.13 Potencia isotrópica radiada equivalente (PIRE)	25
2.1.1.14 Ruido.....	25
2.2 Técnicas de multiplexaje	26
2.2.1 Multiplexaje por división de frecuencia (FDM)	26
2.2.2 Multiplexaje por división de tiempo (TDM)	27
2.2.3 Multiplexaje por división de código (CDM).....	30
2.3 Técnicas de acceso múltiple	31
2.3.1 Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA).....	31
2.3.2 Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)	33
2.3.3 Acceso múltiple por división de código (CDMA)	36
2.4 Técnicas digitales de modulación y demodulación	37
2.4.1 Modulación digital de amplitud (ASK)	37
2.4.1.1 Modulación de amplitud en cuadratura (QAM)	38
2.4.1.2 Modulación de amplitud en cuadratura de ocho (8-QAM)	38
2.4.2 Modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK)	38
2.4.3 Modulación por desplazamiento de fase (PSK).....	39
2.4.3.1 Modulación por desplazamiento de fase binario (BPSK).....	40
2.4.3.2 Modulación por desplazamiento de fase en cuadratura (QPSK)....	40
2.4.3.3 Modulación por desplazamiento de fase multinivel (MPSK).....	41
CAPÍTULO III: ESTACIÓN TERMINAL TERRENA.....	42
3 Capítulo III: Estación terminal terrena	43
3.1 Diagrama de una estación terrena (configuración redundante)	43
3.2 Componentes de una estación terrena	44
3.2.1 Antena	44
3.2.1.1 Funcionamiento y configuraciones geométricas	45
3.2.1.2 Patrones de radiación.....	47
Antenas con diámetro D igual o mayor a 150λ	48
Antenas con diámetro D , donde $100 \lambda \leq D \leq 150 \lambda$	48
Antenas con diámetro D , donde $35 \lambda \leq D \leq 100 \lambda$	49
3.2.1.3 Alimentadores de corneta.....	49
3.2.1.4 Elevación y acimut para la antena de la estación	50
3.2.1.5 Montaje.....	51
3.2.2 Rastreo	53
3.2.3 Transmisor.....	54
3.2.4 Receptor	55
3.2.5 Alimentación de una estación terrena.....	55
3.3 Terminal de apertura muy pequeña (VSAT)	56
3.4 Acceso satelital TDM - TDMA	58
3.5 Red satelital de comunicaciones.....	59
3.6 Topología de la red tipo estrella	60
3.7 Estación central o HUB	60

3.8	Diagrama general.....	61
3.9	Outroute	62
3.9.1	Formatos de transmisión del outroute.....	62
3.10	Inroute	64
3.11	Protocolos	66
3.11.1	ALOHA (Acceso aleatorio).....	66
3.11.2	Stream (dedicado)	68
3.11.3	Reservación.....	68
CAPÍTULO IV: DIMENSIONAMIENTO DE LA RED		70
4	Capítulo IV: Dimensionamiento de la red	71
4.1	Tipo de Satélite	71
4.2	Cobertura de la Banda C.....	72
4.2.1	SFD (Densidad de flujo de saturación del satélite)	73
4.2.2	Frecuencias de transpondedor	74
4.2.3	G/T (Razón de ganancia de antena receptora / Temperatura de ruido total)	74
4.2.4	PIRE del satélite	75
4.3	Número de outroutes requeridos.....	75
4.4	Número de inroutes requeridos.....	77
4.5	Ancho de Banda de la Red	78
4.6	Propuesta de localización de estaciones terrenas y central en el estado de Guerrero.....	79
CONCLUSIONES		83
GLOSARIO		84
LISTA DE ABREVIATURAS.....		86
ANEXOS		88
REFERENCIAS.....		97

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 - TELSTAR 1.....	2
FIGURA 1.2 - SUBSISTEMAS DE UN SATÉLITE DE COMUNICACIONES	3
FIGURA 1.3 - SISTEMA SATELITAL BÁSICO.....	4
FIGURA 1.4 - DIAGRAMA DE LA RELACIÓN ENTRE LOS SUBSISTEMAS DE ANTENAS Y COMUNICACIONES	6
FIGURA 1.5 - ÓRBITAS DE POSICIONAMIENTO SATELITAL	11
FIGURA 2.1 - PATRONES DE RADIACIÓN.....	17
FIGURA 2.2 - PATRÓN DE RADIACIÓN	19
FIGURA 2.3 - POLARIZACIÓN LINEAL, CIRCULAR Y ELÍPTICA	20
FIGURA 2.4 - DISTANCIA ENTRE UNA ESTACIÓN TERRENA Y EL SATÉLITE (RANGO).....	21
FIGURA 2.5 - ABSORCIÓN ATMOSFÉRICA DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS.....	23
FIGURA 2.6 - MULTIPLEXAJE POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA DE CANALES TELEFÓNICOS ANALÓGICOS	27
FIGURA 2.7 - SISTEMA TDM.....	28
FIGURA 2.8 - JERARQUÍAS RECOMENDADAS POR LA UIT PARA EL MULTIPLEXAJE POR DIVISIÓN DE TIEMPO DE CANALES TELEFÓNICOS.....	29
FIGURA 2.9 - ESTRUCTURAS Y TIEMPOS DE UNA TRAMA DEL MULTIPLEXOR DE PRIMER ORDEN PARA TELEFONÍA	30
FIGURA 2.10 - ESQUEMA DE ESPECTRO CDM	31
FIGURA 2.11 - EJEMPLO DE LÍMITES DE ANCHURA DE BANDA Y POTENCIA	32
FIGURA 2.12 - TRANSMISIÓN DE ESTACIONES TERRENAS DE TRÁFICO Y REFERENCIA.....	33
FIGURA 2.13 - FORMATO DE BITS POR UNA ESTACIÓN DE UN SISTEMA TDMA EN CADA RÁFAGA.....	34
FIGURA 2.14 - ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE CÓDIGO (CDMA)	36
FIGURA 2.15 - MODULACIÓN ASK	37
FIGURA 2.16 - CONSTELACIÓN 8-QAM	38
FIGURA 2.17 - MODULACIÓN FSK.....	39
FIGURA 2.18 - MODULACIÓN PSK	39
FIGURA 2.19 - CONSTELACIÓN QPSK.....	40
FIGURA 3.1 - ESTACIÓN TERRENA CON CONFIGURACIÓN REDUNDANTE	43
FIGURA 3.2 - PATRÓN DE RADIACIÓN DE LA ANTENA PARABÓLICA DE DOS ESTACIONES TERRENAS	44
FIGURA 3.3 - ANTENA CON REFLECTOR PARABÓLICO ÚNICO Y ALIMENTACIÓN FRONTAL	45
FIGURA 3.4 - ANTENA CASSEGRAIN BÁSICA CON ALIMENTADOR CENTRADO.....	46
FIGURA 3.5 - ANTENA CASSAGRAIN CON REFLECTORES DE CONFIRMACIÓN MODIFICADA.....	47
FIGURA 3.6 - ÁNGULO DE ELEVACIÓN	50
FIGURA 3.7 - ÁNGULO DE ACIMUT	51
FIGURA 3.8 - MONTAJE ELEVACIÓN - ACIMUT	52
FIGURA 3.9 - MONTAJE X - Y.....	52
FIGURA 3.10 - MONTAJE POLAR	53
FIGURA 3.11 - ESTRUCTURA DE VSAT.....	56
FIGURA 3.12 - ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN DE TIEMPO (TDMA) SATELITAL.....	58
FIGURA 3.13 - DIAGRAMA GENERAL DE LA RED PARA TRANSMISIÓN DE VOZ CON TOPOLOGÍA ESTRELLA	61
FIGURA 3.14 - ORGANIZACIÓN DEL OUTROUTE.....	63
FIGURA 3.15 - FORMATO DE PAQUETE DEL OUTROUTE PARA DATOS SÍNCRONOS Y VOZ.....	64
FIGURA 3.16 - FORMATO DE PAQUETE DEL OUTROUTE PARA CADENAS DE VOZ.....	64
FIGURA 3.17 - FORMATO DE LA TRAMA DEL INROUTE.....	65
FIGURA 3.18 - FORMATO DE PAQUETE DEL INROUTE PARA CADENAS DE VOZ	67
FIGURA 4.1 - COBERTURA SATELITAL SFD.....	73
FIGURA 4.2 - FRECUENCIAS DE TRANSPONDEDOR HORIZONTAL.....	74



FIGURA 4.3 - COBERTURA G/T DE TRANSPONDEDOR IMPAR	74
FIGURA 4.4 - COBERTURA Y LA PIRE	75
FIGURA 4.5 - ANCHO DE BANDA DE LA RED.....	78
FIGURA 4.6 - MAPA DE COBERTURA DE VOZ EN GUERRERO	79
FIGURA 4.7 - COBERTURA DE VOZ EN LA COMUNIDAD VALLECITOS DE ZARAGOZA, GUERRERO.....	80
FIGURA 4.8 - COMUNIDAD DE VALLECITOS DE ZARAGOZA EN GUERRERO DESDE PERSPECTIVA SATELITAL	80
FIGURA 4.9 - UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES TERRENAS Y HUB DE LA RED DE COMUNICACIONES EN GUERRERO	81



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1 - COMPONENTES DE UN SATÉLITE DE COMUNICACIONES	4
TABLA 1.2 - COMPARATIVA ENTRE ÓRBITAS GEOCÉNTRICAS.....	13
TABLA 1.3 - BANDAS DE FRECUENCIAS PARA LAS COMUNICACIONES POR SATÉLITE	14
TABLA 4.1 - PARÁMETROS DE LA BANDA C.....	71
TABLA 4.2 - TABLA DE FRECUENCIA Y POLARIZACIÓN PARA LA BANDA C	72
TABLA 4.3 - TABLA DE COBERTURAS EN MÉXICO REGIÓN NORTE.....	72

OBJETIVO

Diseñar una red de comunicaciones que proporcione el servicio de voz para el estado de Guerrero.

Objetivos Específicos

- Definir conceptos y teoría necesarios para el diseño de la red de comunicaciones.
- Dimensionar la red de comunicaciones mediante los cálculos y análisis necesarios.
- Determinar la viabilidad de implementación de la red de comunicaciones.
- Definir el ancho de banda necesario para la transmisión eficiente en la red de comunicaciones.

INTRODUCCIÓN

Desde el origen del ser humano hasta la actualidad, existe la necesidad de la comunicación. Lo anterior fue el motivo por el que nuestros antepasados empezaron a utilizar formas muy básicas de comunicación como los gritos y señales de humo, esto hasta llegar a la aparición de los primeros sistemas de escritura durante la edad de bronce (1700 al 800 a. de C.). Con el pasar del tiempo, la evolución del pensamiento humano, la creación de distintas ciencias y la invención de la electricidad, las formas de comunicación fueron desarrollándose dando paso a nuevos inventos tecnológicos como el telégrafo, la radio, el teléfono y la televisión.

Los primeros inventos relacionados a la comunicación a distancia se veían limitados por la estructura física que se debía poseer para que este funcionara, como largos cables tendidos a lo largo de distancias muy largas hasta terminales muy costosas y robustas. Esto dio un giro radical cuando empezaron a usarse señales electromagnéticas para enviar y recibir información, ya que esto eliminaba muchos limitantes y permitía llegar a lugares más lejanos con una eficiencia mayor.

A partir de lo anterior, el campo de las telecomunicaciones se ha visto envuelto en un desarrollo enorme, pasando por una etapa donde se logró llevar al espacio satélites artificiales a la disposición del ser humano para poder llevar voz, video y diversos servicios a cualquier parte del planeta. Arthur C. Clarke, en 1945, fue el primero en presentar una idea de este tipo, la cual fue catalogada por muchos como una idea poco viable y fantasiosa, despertando con esto la curiosidad e interés de muchos para empezar a fabricar los primeros reflectores pasivos de señales, los cuales consistían en hacer volar un enorme globo cubierto de aluminio para poder reflejar las ondas electromagnéticas provenientes desde un punto de la tierra hacia otro.

En el año de 1957 la desaparecida URSS logró llevar al espacio el Sputnik I, el primer satélite artificial en el espacio exterior de la historia. Poco tiempo después, Estados Unidos envió al espacio el Explorer I, dando pie a la famosa carrera espacial durante la Guerra Fría. Todo lo anterior fue el comienzo por el cual el día de hoy tenemos complejos sistemas de comunicaciones satelitales con una gran cobertura que nos permiten estar en comunicación con todo el mundo.

En México, la comercialización de telefonía móvil y fija se remonta a muchos años atrás, desde entonces se ha ido desarrollando progresivamente. Con la aparición de distintos proveedores de este servicio, la comunicación entre distintos puntos del país de forma inalámbrica es una realidad, sin embargo, a falta de infraestructura ningún proveedor de telefonía ha sido capaz de dar cobertura en su totalidad al país. Al revisar los mapas de cobertura de distintas compañías telefónicas se puede apreciar que uno de los estados que más carecen de este servicio es el estado de Guerrero; este estado cuenta con una extensión territorial de 63 597 Km², los cuales



están divididos en 81 municipios. Guerrero cuenta con un alto índice de violencia e inseguridad, además es un punto estratégico para el turismo, comercio e industria, por lo que es indispensable diseñar una red de comunicaciones

JUSTIFICACIÓN

El día de hoy, la necesidad de métodos para comunicación eficiente y de calidad va en aumento, esto para el beneficio de distintos sectores los cuales conforman el país, donde se pueden encontrar desde grandes y pequeñas poblaciones hasta zonas estratégicas para la industria. Por lo anterior, es de vital importancia un sistema de comunicaciones de calidad y de alta eficiencia. Aún no es posible tener infraestructura de comunicaciones en toda la zona geográfica del país por lo cual es importante atender esta necesidad.

En la región suroeste del país se encuentra el estado de Guerrero, el cual es uno de los estados con el mayor índice de violencia en México; dentro de este se encuentra la ciudad de Acapulco, considerada en varias ocasiones como la ciudad más violenta del país, esto, combinado con su gran extensión territorial y el índice de pobreza según el CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política Social) hacen que en Guerrero sea primordial un sistema de comunicaciones que facilite el sistema de seguridad y de comunicación.

Gracias a la tecnología satelital se puede ofrecer este tipo de servicio el cual tiene acceso a áreas remotas y donde difícilmente llegaría otro tipo de infraestructura de comunicaciones. Es necesario el diseño de una red de voz satelital para beneficio de la sociedad, el cual pueda ser utilizado por la policía del estado y la sociedad en general para así dar prevención y seguimiento a delitos, accidentes y cualquier tipo de irregularidad para así bajar el índice de violencia en la región, para beneficio de la sociedad en general y para empresas del orden público o privado.



CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN VÍA SATÉLITE

1 Capítulo I: Introducción a los sistemas de comunicación vía satélite

1.1 Antecedentes teóricos de los satélites

La necesidad de establecer enlaces fiables de comunicación internacional de amplia cobertura fue el motivo por el cual se empezó con el diseño y construcción de satélites artificiales los cuales serían el inicio de una nueva forma de establecer comunicación entre áreas geográficas mayores a un menor costo y de una manera más eficiente.

En el año 1945, Arthur C. Clarke ideó la colocación y puesta en órbita de satélites artificiales los cuales girarían a la par con el movimiento de la Tierra, como si estos nunca se movieran y estuvieran situados en la misma posición siempre. Posteriormente, en 1957 Rusia lanzó el Sputnik I, el primer satélite terrestre activo; un satélite activo es capaz de recibir, amplificar, reconformar, regenerar y retransmitir información. El Sputnik 1 transmitió información de telemetría durante 21 días. Después, al mismo año, E.E.U.U lanzó el Explorer 1, que transmitió información de telemetría durante casi 5 meses.

En la figura 1.1 se muestra el Telstar I, AT&T realizó el lanzamiento en el año 1962 con el cual se pudo transmitir de manera simultánea señales de radio. Este equipo solo duró poco tiempo en órbita, debido a que en los cinturones de Van Allen existía radiación, la cual no soportó el equipo. Así fue como a través de este daño, crearon Telstar II, el cual fue más resistente a la radiación, además de que se utilizó para la transmisión de los servicios de telefonía, video y datos. Fue el primero en lograr la transmisión transatlántica con el servicio de video.

El primer satélite comercial de telecomunicaciones fue el IntelSAT I y fue lanzado desde Cabo Kennedy en 1965 el cual utilizaba transpondedores y un ancho de banda de 25 MHz.



Figura 1.1 - Telstar 1

1.2 Satélite

Los satélites de comunicación son unos complejos sistemas repetidores de la señal situados a gran distancia de la Tierra, desde los que se cubre una gran zona o incluso un continente. [1] Los satélites artificiales se emplean para realizar algún tipo de servicio de radiocomunicación donde la transmisión se origina en una estación terrestre y se envía hacia el satélite que actúa como repetidor, reenviando la señal recibida desde múltiples estaciones.

1.3 Sistemas satelitales

Un satélite es un sistema muy complejo y delicado, el cual está integrado por varios subsistemas; cada uno de ellos es igualmente importante, pues su probable falla podría causar la inutilidad parcial o total del conjunto. Los componentes de los satélites de comunicaciones están divididos en dos grandes grupos, de acuerdo con sus funciones principales que también se muestran en la figura 1.2:

- Componentes de funcionamiento del satélite (plataforma): Destinados a mantener al satélite operativo y en órbita.
- Componentes de radiocomunicaciones (carga útil): Encargados de prestar algún servicio de radiocomunicación. Se integra por el subsistema de antenas y comunicaciones.

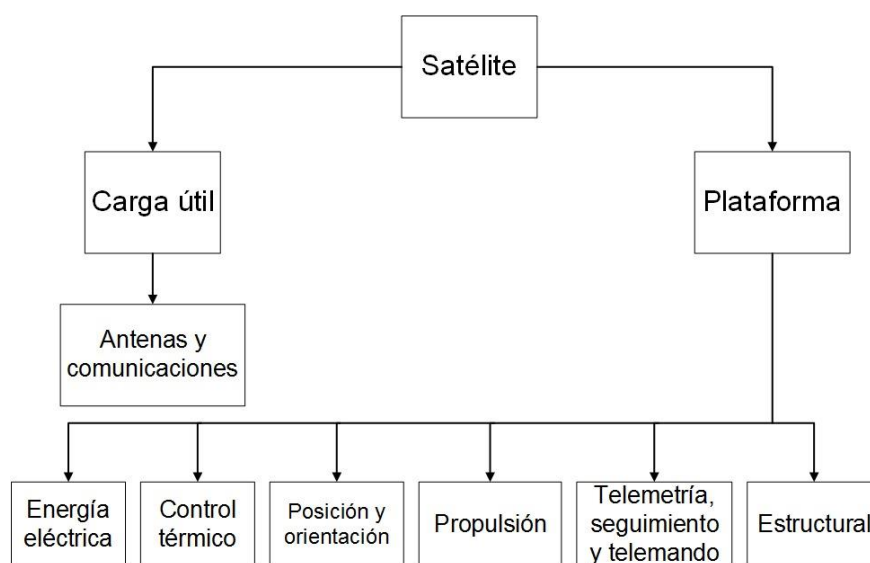


Figura 1.2 - Subsistemas de un satélite de comunicaciones

En la tabla 1.1 [2] se da una breve descripción de la función de los subsistemas que conforman el satélite, esto como introducción para posteriormente describir cada uno de ellos.

Tabla 1.1 - Componentes de un satélite de comunicaciones

Subsistema	Función
Antenas y comunicaciones	Recibir las señales de radiofrecuencia, procesarlas, amplificarlas y/o cambiarlas de frecuencia, para entregarlas a las antenas y retransmitirlas.
Energía eléctrica	Suministrar electricidad con los niveles adecuados de voltaje y corriente.
Control térmico	Regular la temperatura de los componentes del satélite.
Posición y orientación	Determinar la posición y orientación del satélite, y estabilizar y orientar antenas y células solares.
Propulsión	Proporcionar incrementos de velocidad y pares para corregir la posición y la orientación
Telemetría, seguimiento y telemando	Intercambiar información con el centro de control de la Tierra para monitorizar y conservar el funcionamiento del satélite y controlarlo de forma remota.
Estructural	Alojar todos los equipos y proporcionar robustez y rigidez al satélite.

En la figura 1.3 se muestra la estructura de un sistema satelital básico con el cual se busca ejemplificar e ilustrar algunos de los conceptos que se abordarán enseguida.

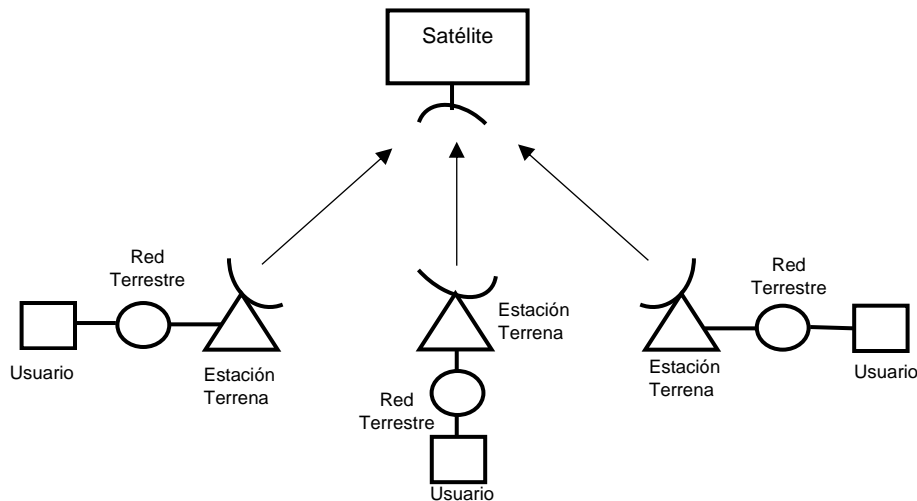


Figura 1.3 - Sistema satelital básico

1.3.1 Subsistema de antenas

Las antenas que más se utilizan en los satélites de comunicaciones son monopolos, dipolos, helicoidales, bicónicas, cornetas, platos parabólicos y arreglos de diversos tipos (planares, de cornetas, de dipolos, etc.). Las antenas reciben las señales de radiofrecuencia provenientes de las estaciones terrenas transmisoras, y después de que son amplificadas y/o procesadas con el satélite, son transmitidas de regreso a la tierra, concentradas en un determinado haz de potencia o en muchos haces. [3]

Las antenas son la vía de entrada y salida del satélite, las cuales también actúan como la interfaz o etapa de transformación entre las señales electromagnéticas que viajan por el espacio y las señales que circulan dentro de sus subsistemas de comunicaciones y de rastreo, telemetría y comando. Se cuenta con antenas de gran variedad de tipos, tamaños y configuraciones, esto depende de las frecuencias a las que se tenga que trabajar y la cobertura requerida para la zona geográfica donde se establecerá el servicio.

Una antena parabólica pequeña puede recibir y transmitir señales dentro de una extensión territorial muy grande, mientras que una antena de mayor tamaño, operada a la misma frecuencia, solamente puede hacerlo dentro de una zona geográfica más pequeña, por que su haz de radiación es más angosto; pero esto se compensa con una mayor ganancia. Mientras más grandes sean las antenas parabólicas, estas pueden concentrar la energía electromagnética en un haz muy angosto irradiando con niveles altos de densidad de potencia; esto facilita el diseño y reduce el costo de las estaciones terrenas receptoras por que reciben señales de mayor intensidad. Por otra parte, entre más alta sea la frecuencia a la que se maneja la antena parabólica, mayor es su capacidad para concentrar energía; esto es propio de todas las antenas llamadas "de apertura", cuya capacidad de concentrar la potencia en un haz invisible de radiación o iluminación muy angosto es función directa de sus dimensiones eléctricas y no sólo de las físicas.

1.3.2 Subsistema de comunicaciones

Las señales que se mandan desde la Tierra con una determinada frecuencia dentro de cierta banda común entran al satélite por medio de una antena receptora. Dentro del satélite las señales son separadas por grupos, amplificadas y procesadas, para convertirlas a una frecuencia más baja, amplificadas nuevamente y luego reagrupadas para retransmitirse hacia la Tierra a través de la antena transmisora. Cada canal de banda ancha tiene un ancho de banda de varios MHz y puede contener desde uno hasta cientos de canales de datos, según las tasas de transmisión y técnicas empleadas en modulación, multiplexaje y acceso múltiple.

Los canales de banda ancha o de microondas se manejan como un transpondedor y es necesario saber que un satélite común tiene en promedio doce transpondedores para una determinada banda de trabajo y polarización. Un transpondedor es toda la unión de unidades o equipos interconectados en serie del

canal, desde la antena receptora hasta la antena transmisora; algunas unidades o equipos son comunes o compartidos entre todos los transpondedores de modo que aunque se haga referencia a un determinado transpondedor, debe entenderse que se trata de todo un canal con varios equipos interconectados y no solamente de una pieza de equipo.

El espectro radioeléctrico que se encuentra disponible para los satélites de comunicaciones es limitado y es posible aumentar la capacidad de cada satélite usando dos métodos técnicos, los cuales son conocidos la reutilización de frecuencias (con aislamiento espacial y con discriminación de polarización).

Un gran porcentaje de los satélites utilizan polarización ortogonal lineal (horizontal y vertical), aunque en la banda tipo C es común emplear también polarización ortogonal circular (derecha e izquierda). El satélite puede emplear las dos técnicas de reutilización de frecuencias al mismo tiempo, esto quiere decir que puede hacer radiar varios haces y frecuencias ortogonales a la vez, y como resultado obtendremos mayor ancho de banda total.

Cada una de las señales que recibe el satélite, ya sea de voz, datos o video, entran al subsistema de antenas para que sean procesadas y se transmitan a la Tierra. Una vez que la señal se encuentre en el satélite, el subsistema de comunicaciones amplifica la señal recibida para que pueda llegar a su destino con suficiente potencia y a su vez trasladarla en frecuencia para que no sufra de alguna interferencia de señal, lo realiza mediante los dispositivos que se tienen instalados en el subsistema, como lo son amplificadores, convertidores y conmutadores de frecuencia, multiplexores, filtros, entre otros.

Los satélites son construidos con una o más antenas receptoras, el cual depende del uso del mismo, las cuales dependerán del diseño y aplicaciones, en donde cada una de las antenas debera de ser capaz de recibir al mismo tiempo varios canales con información para ser procesados y separados en distintos transpondedores para su eficaz manejo. En la figura 1.4 se muestra la relación que existe entre los subsistemas de antenas y comunicaciones.

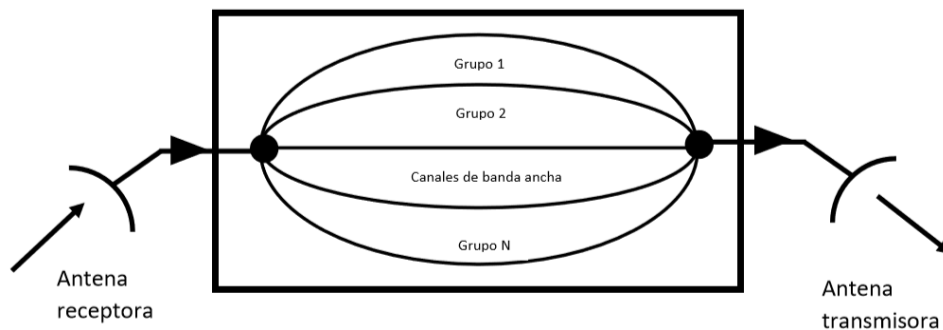


Figura 1.4 - Diagrama de la relación entre los subsistemas de antenas y comunicaciones

1.3.3 Subsistema de energía eléctrica

Todo todo tipo de satélite necesita un suministro de energía eléctrica sin interrupción y sin variaciones sin ningún tipo de variación considerable en los niveles de voltaje y de corriente. La cantidad de potencia se considera a paritr del modelo del satélite y de sus características generales de operación (varía entre 1 y 20 kilowatts). En el subsistema de energía eléctrica se encuentran tres elementos importantes para el satélite, una fuente primaria, una fuente secundaria y un acondicionador de potencia. El acondicionador de potencia esta integrado por circuitos de protección, convertidores y reguladores, que regulan y distribuyen la electricidad con los niveles adecuados a cada una de las partes del satélite.

Con excepción de las primeras horas después de su lanzamiento, en donde la electricidad necesaria es suministrada por baterías, la fuente primaria de energía del satélite está constituida por arreglos de celdas solares. Las celdas solares funcionan mediante el efecto fotovoltaico y también depende de la temperatura a la que estén expuestas las celdas solares. Después de varios años funcionando, la reducción de la eficiencia de las celdas solares puede disminuir considerablemente hasta un 20% con respecto a la eficiencia original.

La intensidad de la radiación solar sobre las celdas del satélite no es constante, ya que este se acerca o se aleja del sol junto con la Tierra al desplazarse alrededor de él, contemplando una vuelta en un año; cuando el satélite y la Tierra se acercan al Sol, la intensidad de la radiación solar sobre las celdas aumenta.

La distancia del satélite al Sol y el movimiento aparente del Sol con respecto al satélite ocasionan que en diferentes épocas del año se tenga más o menos energía eléctrica disponible, siendo máxima durante los equinoccios y mínima en los solsticios.

En el momento que ocurre un eclipse desaparece la contribución del calor proveniente del Sol, así como el albedo cuya influencia es mucho menor, modificándose la temperatura resultante total. En caso de no tomar alguna medida de proteccion para estas condiciones, el satélite llegaría a sufrir un cambio térmico elevado, enfriandose a tal grado que algunos componentes que no soporten la temperatura dejen de funcionar y es por ello que se necesita contar con algún sistema de calefacción que en automático encienda al momento del cambio de temperatura. Para tal efecto se utilizan caloductos que distribuyen en el interior el calor emitido por lo amplificadores de potencia, así como calentadores eléctricos activados por termostatos o a control remoto. [3]

1.3.4 Subsistema de control térmico

Los elementos de control térmico permiten a los satélites soportar los grandes cambios de temperatura (entre $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $120\text{ }^{\circ}\text{C}$). Estos sistemas de control térmico también deben tener en cuenta que diferentes componentes tienen rangos de operación: las celdas solares entre $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, las baterías recargables de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y los tanques de combustible de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Los elementos de propulsión permiten corregir la trayectoria y orientación cuando sea necesario para mantenerse permanentemente en la órbita adecuada. [2]

Los diferentes componentes del satélite requieren límites diferentes de temperatura para su correcto funcionamiento, y es necesario buscar la forma para que los diferentes rangos se conserven y se logre un buen funcionamiento. Uno de los factores que intervienen en el equilibrio en cuestión es el calor generado constantemente por el satélite en su interior, cuya principal contribución proviene de los amplificadores de potencia; la energía que absorbe del Sol y de la Tierra son otros factores que deben considerarse también.

El control del balance térmico es también muy importante cuando ocurre un eclipse pues el satélite se enfría de una forma repentina al quedar en la oscuridad y cuando está expuesto de nuevo a los rayos del Sol sufre otro cambio radical de temperatura. En su interior también se produce una ligera transferencia de calor entre sus partes, pero por conducción. Se utilizan diversos materiales para proteger las diversas partes del satélite y existe una gran variedad de cobertores, de distintos colores y materiales, entre ellos kaptón y el kevlar.

1.3.5 Subsistema de posicionamiento y orientación

El objetivo general de un satélite es recibir señales electromagnéticas desde una estación terrena en la tierra para después transmitir las de regreso a la Tierra. Para que esto suceda, es necesario que el satélite se encuentre bien posicionado y orientado con respecto al punto en la tierra desde el cual está recibiendo las señales. Lo anterior se obtiene mediante diversas técnicas de estabilización por medio de giros y estabilización triaxial.

La técnica de estabilización por giro consiste en que una parte del satélite o en algunos casos toda la estructura, gira para mantener el equilibrio del cuerpo y así mantener las antenas orientadas hacia la Tierra y mantener el enlace lo más estable posible. Hoy, solo una parte del cuerpo gira mientras que el resto del cuerpo del satélite se mantiene fijo; la unión de las dos partes (la que gira y la que no) está hecha con un sistema de rodamiento y transferencia de energía eléctrica con mínima fricción.

Los satélites con estabilización triaxial no giran y parecieran estar inmóviles. En este caso, la estabilidad del satélite se conserva con volantes giratorios los cuales se

encuentran en el interior sobre cada uno de los tres ejes que se utilizan como referencia para definir la orientación del satélite hacia la superficie de la Tierra.

Las fuerzas y fenómenos del espacio no dejan de generar cambios en la posición del satélite sobre su órbita y en su orientación con respecto a la superficie terrestre, por eso es indispensable poder determinar en todo momento dónde está el satélite y cuál es su orientación y distancia exacta. La distancia se mide transmitiendo una señal de referencia la cual se retransmite de regreso para poder determinar la diferencia entre las fases y el tiempo de retardo para así calcular la distancia a la cual se encuentra. La medición del ángulo se puede realizar mediante interferometría usando dos estaciones separadas por una determinada distancia y comparando las señales de prueba recibidas por cada una de ellas.

La técnica de máxima recepción también es utilizada y solo requiere de una estación terrestre y consiste en mover la antena hasta que se detecte el nivel máximo de radiación determinando así que la antena se encuentra perfectamente orientada. El procedimiento de corrección de la posición y orientación del satélite se basa en comparar los resultados de las mediciones de los distintos sensores basados en valores considerados óptimos.

1.3.6 Subsistema de propulsión

El subsistema de propulsión opera con base en el principio de la tercera ley de Newton; mediante la expulsión de materia a gran velocidad y alta temperatura a través ductos de escape, con lo que se obtienen fuerzas de empuje en sentido contrario. Hay propulsores químicos y eléctricos, pero los primeros aún son los de mayor uso por que proporcionan niveles de empuje mucho más grandes que los eléctricos.

La eficacia de un propulsor se caracteriza por su empuje y el impulso específico del propelente que utilice. Cada tipo de propelente produce un incremento de velocidad diferente con cierta cantidad de masa consumida; cuanto menor sea la masa necesaria para producir un incremento de velocidad determinado, mayor es el impulso específico del propelente. El impulso específico se puede definir como el empuje producido por cada unidad de peso del propulsante que se consume cada segundo, en consecuencia tiene dimensiones de tiempo y se expresa en segundos.

Los propulsores químicos actúan mediante la generación de gases a una temperatura muy alta en el interior de una cámara por medio de una reacción química exotérmica de propelentes la cual hace que los gases se aceleren al pasar por una tubería de escape.

Es necesario guardar un poco de combustible al final de la vida útil del satélite, para poder mandarlo a una órbita más alta donde será desechado.

1.3.7 Subsistema de rastreo, telemetría y comando

El objetivo de este subsistema es el de conocer la operación y posición del satélite, también enviar órdenes para realizar algún tipo de cambio. El equipo de telemetría cuenta con diversos tipos de sensores que se encuentran en puntos estratégicos los cuales se encargan de medir voltajes, corrientes, presiones, potencia de salida de amplificadores, posición de interruptores y temperaturas. Las lecturas que se toman con los sensores son enviadas a la Tierra, estas permiten saber cual es el estado de operación del sistema apoyada con la información de rastreo.

El rastreo funciona a través de la transmisión de varias señales de prueba las cuales son tonos que son enviados desde la transmisión terrena hacia el satélite, en donde las señales que se reciben en la estación terrestre permiten calcular la distancia a donde esta colocado el satélite con un resultado muy aproximado variando en metros.

La información que hace referencia a la telemetría es digitalizada, multiplexada en TDM (se explica con detalle en el capítulo II) y enviada a la estación terrena en forma de PCM (Modulación por Pulsos Codificados), cada una de las señales de comando son codificadas y cifradas por seguridad. Actualmente los satélites cuentan con un procesador de control, el cual genera comandos para realizar funciones autónomas.

1.3.8 Subsistema estructural

Este subsistema debe ser durable, resistente y ligero, ya que es la estructura que protegerá a todos los equipos que forman al satélite. A través de propulsores y esfuerzos mecánicos es enviado a su órbita y durante el lanzamiento el satélite se ve afectado por aceleraciones y vibraciones, además que una vez llegando a su posición final en la órbita, sufre impactos de micrometeoritos. Es por ello que la estructura del satélite debe ser diseñada para soportar todas estas condiciones durante la colocación en órbita y el tiempo de vida esperado.

Los materiales más comunes en la fabricación de estas estructuras son: magnesio, aluminio, titanio, acero, berilio y plásticos reforzados con fibra de carbón. El peso de la estructura comprende del 10% al 20% del total del peso del satélite.

1.4 Órbitas satelitales

Los satélites son ubicados a kilómetros del planeta Tierra, la distancia dependerá del uso y cobertura se requiera. A continuación, se mencionan las principales órbitas satelitales en donde se encuentran ubicados la mayor parte de satélites artificiales alrededor de la Tierra.

1.4.1 Clasificación de órbitas satelitales

De acuerdo al tipo de órbita en el que se localicen, los satélites se clasifican en cuatro tipos:

- LEO (Low Earth Orbit), Órbita Terrestre Baja.
- MEO (Medium Earth Orbit), Órbita Terrestre Intermedia.
- GEO (Geosynchronous Earth Orbit), Órbita Terrestre Geosíncrona.
- HEO (High Elliptical Orbit), Órbita Elíptica Alta.

En la figura 1.5 se puede observar la distancia a la que se encuentran las órbitas satelitales tomando como punto de referencia la superficie terrestre.

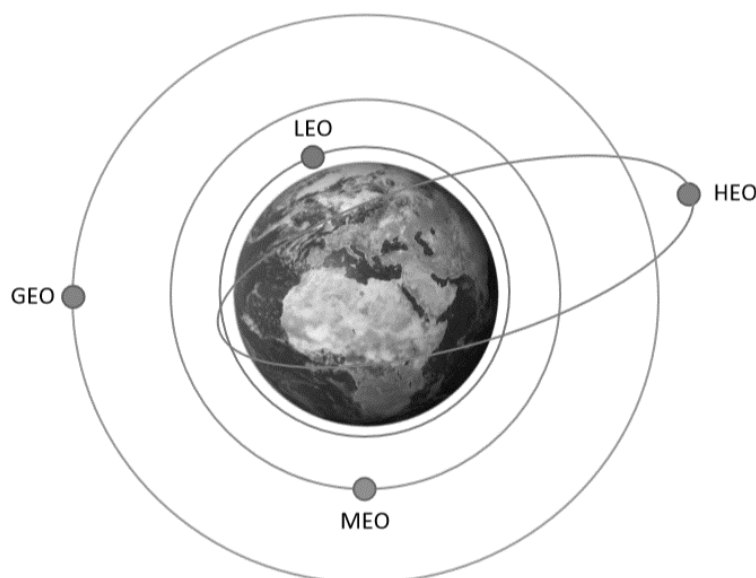


Figura 1.5 - Órbitas de posicionamiento satelital

1.4.2 LEO (Low Earth Orbit)

La mayoría de los satélites LEO trabajan en el intervalo de frecuencias de 1.0 a 2.5 GHz. Generalmente orbitan por debajo de los 5,000 km, y la mayoría de ellos se encuentran mucho más abajo, entre los 500 y los 1,600 km.

La principal ventaja de estos satélites es que la pérdida de trayectoria entre las estaciones terrestres y los vehículos espaciales es mucho menor que para satélites que giran en órbitas de mayor altura. [4]

1.4.3 MEO (Medium Earth Orbit)

Se ubican aproximadamente entre 6,000 y 11,000 km de altura. Los límites señalados permiten que los satélites queden ubicados entre el primero y el segundo cinturón de Van Allen, evitando su radiación perjudicial. [5]

1.4.4 GEO (Geostationary Orbit)

Los satélites GEO principalmente funcionan en el espectro de frecuencias de 2 a 18 GHz, están situados a una altitud de 35,787 Km en la cual estos parecen prácticamente inmóviles desde las estaciones terrenas que tienen acceso a ellos. [5]

1.4.5 HEO (High Elliptic Orbit)

Satélites situados a más de 36,000 km con el fin de cubrir una amplia región incluyendo una de las zonas polares, donde los satélites geoestacionarios no pueden dar servicio. [5]

1.4.6 Comparativa entre órbitas satelitales

En la tabla 1.2 se muestra una comparativa entre aspectos característicos de las órbitas satelitales para poder identificar con más exactitud las diferencias que existen entre cada una de ellas.

Tabla 1.2- Comparativa entre órbitas geocéntricas

	LEO	MEO	GEO	HEO
Tipo de órbita	Circular	Circular	Circular, geosíncrona y ecuatorial	Elíptica, Perigeo de cientos de km, apogeo de miles de km
Área de cobertura	Total, con constelaciones	Total, con constelaciones	120° en longitud y 80° en latitud, pero no pueden cubrir polos	Diseñados para cubrir un área bajo el apogeo
Retardo	Muy bajo	100-200 ms	250 ms	250 ms (en el apogeo)
Congestión	No	No	Sí	No
Seguimiento en tierra	Antenas de baja ganancia con patrones hemisféricos u omnidireccionales	Antenas de baja ganancia con patrones hemisféricos u omnidireccionales	Antena fija en Tierra: satélite fijo en un punto del espacio	Antenas fijas para el sector más lento del apogeo
Potencia y ganancia	Potencia de transmisión baja	Potencia de transmisión baja	Antena de alta ganancia en el satélite	Antena de alta ganancia en el satélite
Efecto doppler	Alto	Medio	No	Bajo
Coste de lanzamiento	Medio (constelaciones)	Medio (constelaciones)	Muy alto	Alto
Daño por radiación	No pasan por cinturones de radiación	Solo durante el lanzamiento	Solo durante el lanzamiento	Paso breve en cada órbita

1.5 Bandas de frecuencia en satélites

Mientras se llevaba a cabo la Segunda Guerra Mundial, los fabricantes de radares de las diversas naciones, específicamente Estados Unidos e Inglaterra, nombraron partes del espectro con letras, tales como la banda L, C, Ku o banda K. Las letras con las cuales se identificó a las bandas de frecuencias fueron escogidas al azar sin algún patrón en especial para que el enemigo no pudiera entender el lenguaje. Las bandas de frecuencia que son más utilizadas en las comunicaciones por satélite son la banda C y Ku.

La elección entre una u otra banda viene dada en función del análisis del propósito final de la transmisión y del tipo del mercado al que se desea llegar. En la tabla 1.3 se muestra el rango de frecuencias y los principales usos de las bandas satelitales.

Tabla 1.3 - Bandas de frecuencias para las comunicaciones por satélite

Bandas	Rango de frecuencias	Servicio	Principales usos
VHF	30 – 300 MHz	Fijo	Telemetría
UHF	300 – 1000 MHz	Móvil	Navegación, militar
L	1 – 2 GHz	Móvil	Emisión de audio, radiolocalización
S	2 - 4 GHz	Móvil	Navegación
C	4 – 8 GHz	Fijo	Voz, datos, imágenes, TV
X	8 – 12 GHz	Fijo	Militar
Ku	12 – 18 GHz	Fijo	Voz, datos, imágenes
K	18 – 27 GHz	Fijo	TV, comunicación intersatélite
Ka	27 - 40 GHz	Fijo	TV, comunicación intersatélite

CAPÍTULO II: PARÁMETROS TÉCNICOS

2 Capítulo II: Parámetros técnicos

2.1 Antenas

Las antenas son dispositivos capaces de enviar o recibir energía tipo electromagnética, la cual surge de la transferencia de energía generada por un circuito eléctrico, en donde se transfieren en forma de ondas electromagnéticas a través del espacio.

La definición que da el Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica abreviado como IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) define a una antena como “aquella parte de un sistema transmisor o receptor, diseñada específicamente para radiar o recibir ondas electromagnéticas” [6].

2.1.1 Características de las antenas

Las antenas son dispositivos que están hechos para transmitir y recibir ondas de radio electromagnéticas, de las cuales existen varias características importantes que deben ser consideradas para la aplicación específica de ellas.

2.1.1.1 Ancho de Banda

Las antenas, debido a las características para la cual fueron diseñadas, están limitadas a operar en un cierto margen o banda de frecuencias según sea su aplicación. A este intervalo se le conoce como ancho de banda, pero este concepto no se puede decir que es una definición única, ya que, según la aplicación particular, en la definición pueden influir diversos factores tales como el cambio en la forma del diagrama de radiación, variación en las características de polarización, desacoplamiento de impedancias, aumento en el nivel de los lóbulos secundarios, reducción de la ganancia, etc.

El ancho de banda suele expresarse como la relación entre una frecuencia máxima y una frecuencia mínima y la frecuencia central.

2.1.1.2 Impedancia

Cada dispositivo electrónico, al conectarse a otro, presenta una resistencia, es decir que genera un impedimento al paso de la corriente eléctrica. La suma de todos estos impedimentos se le denomina impedancia. El ohm es la unidad de medida de las impedancias y se representa con el símbolo Ω . En el campo de las

radiocomunicaciones es común trabajar con impedancias de 50Ω , en otras aplicaciones generalmente con 75Ω .

Al usar un cable coaxial para antenas, es de vital importancia saber a la impedancia de este, debido a que existe una gran posibilidad de dañar el equipo de trabajo como un transmisor.

2.1.1.3 Directividad

La directividad de una antena se define como “la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección, a una distancia dada, y la densidad de potencia que radiaría a esta misma distancia una antena isotrópica que radiase la misma potencia que la antena transmisora” [7]. En otras palabras, la directividad indica las zonas donde la antena irradia la potencia, en la cual puede ser de 2 maneras: Omnidireccional o Direccional.

- Omnidireccionales: Irradian uniformemente a todas partes por igual. Crea una especie de círculo alrededor de la antena. Se usan para señales de baja frecuencia como la Onda Corta o AM (Amplitud Modulada).
- Direccionales: La mayor potencia es disipada en la dirección hacia donde estén colocados o dirigidas las antenas y poco por la parte lateral o trasera. Se emplean en transmisiones de Alta Frecuencia, como las de FM (Frecuencia Modulada).

Para mejor entendimiento se encuentra la figura 2.1:

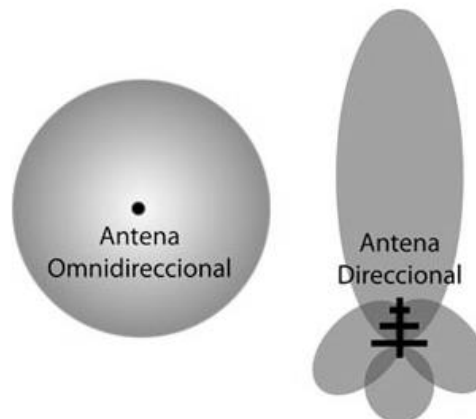


Figura 2.1 - Patrones de radiación

La directividad es solo una magnitud la cual hace mención a la direccionalidad de la antena, y por lo tanto solo depende del patrón de radiación y de la ganancia. Es adimensional con valores menor o igual a 1.

2.1.1.4 Ganancia

En la definición de directividad en el subtítulo anterior no se tiene en cuenta la eficiencia de la antena; es decir, la definición supone a la antena como sin pérdidas. Debido a los materiales con los cuales son construidas las antenas que no son conductores perfectos y por el tipo de aisladores instalados, gran parte de la potencia suministrada a la antena se pierde, añadiendo otras causas como puede ser sobrecalentamiento a causa de la resistencia existente en los conductores o por diversas fugas en los dieléctricos. La eficiencia en la antena se ve afectada por diversos componentes, teniendo como resultado disminución de la potencia neta que debe de entregar la antena.

Tomando en cuenta este hecho, es necesario modificar el concepto de directividad de modo que se tenga en cuenta la eficiencia de la antena. Se define entonces la ganancia directiva o simplemente ganancia de una antena como “la relación de la intensidad, en una dirección dada, a la intensidad de radiación que se obtendría si la potencia aceptada de la antena estuviera radiando isotrópicamente. La intensidad de radiación correspondiente a la potencia radiada isotrópica es igual a la potencia aceptada por la antena dividida por 4π ” [7].

Lo común es expresar dicha ganancia en decibeles con relación a la ganancia unitaria de la antena [dBi], se calcula con las expresiones 2.1 y 2.2 que se muestran a continuación, donde el coeficiente η es la eficiencia de apertura.

$$[G]dBi = 10 \log G \quad (2.1)$$

$$G = \eta \left(\frac{\pi D}{\lambda}\right)^2 \quad (2.2)$$

2.1.1.5 Patrón de radiación

El patrón de radiación de una antena es un diagrama de la intensidad de campo, o de la intensidad de potencia en función de un ángulo a una distancia constante desde la antena que está radiando. Si la antena es una antena receptora, el diagrama es el mismo y muestra la sensibilidad de recepción en varias direcciones.

El patrón de radiación de una antena es tridimensional, pero por razones prácticas generalmente se muestra como un patrón en dos dimensiones en uno o varios

planos. Un patrón de antena consiste en varios lóbulos donde la mayor parte de la potencia se concentra en el lóbulo principal y normalmente se desea mantener la potencia en los lóbulos laterales y el lóbulo posterior lo más baja posible. En la figura 2.2 se muestran los principales lóbulos del patrón de radiación de la antena junto con el HPBW (Half Power Beam Width, Ancho de Haz de Media Potencia).

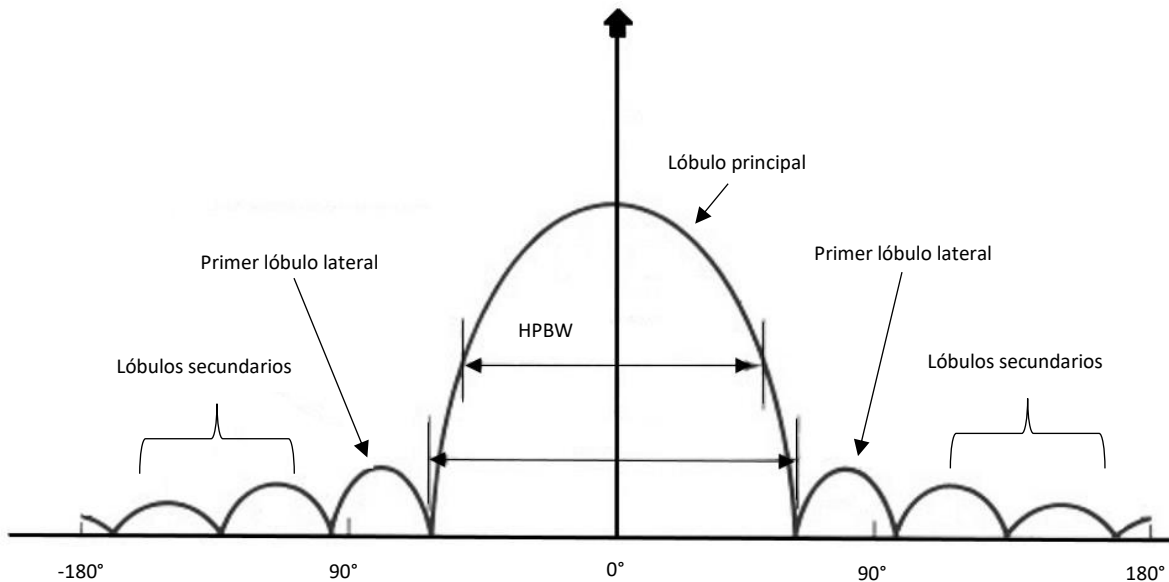


Figura 2.2 - Patrón de radiación

2.1.1.6 Intensidad de la radiación

Una de las características fundamentales de una antena es su capacidad para radiar con una cierta direccionalidad, es decir, para concentrar la energía radiada en ciertas direcciones del espacio. Por lo tanto, es conveniente cuantificar este comportamiento con algún parámetro que permita establecer una comparación entre diferentes antenas: intensidad de radiación. [7] Este parámetro es propio del campo lejano y se obtiene multiplicando la densidad de radiación por el cuadrado de la distancia.

2.1.1.7 Polarización

La polarización de una antena en una dirección dada se define como “la polarización de la onda radiada cuando ésta se encuentra excitada”. La polarización generalmente se define en la dirección en la que la antena radia el máximo de potencia, ya que los enlaces se diseñan para que sean eficientes en la dirección de máxima radiación. La polarización de la onda radiada varía con la dirección respecto

al centro de la antena, por lo que diferentes partes del diagrama de radiación pueden tener diferentes polarizaciones. [6]

La polarización se clasifica en tres tipos: lineal, circular y elíptica. Cuando el vector de campo eléctrico se encuentra dirigido a lo largo de una línea normal a la dirección de propagación, se dice que el campo está linealmente polarizado; sin embargo, si la figura descrita por el vector campo eléctrico es una elipse, se tiene una polarización elíptica. Cuando dos componentes polarizadas linealmente no están en fase, el vector describe un círculo teniendo una polarización circular. En la figura 2.3 se puede observar los tipos de polarización:

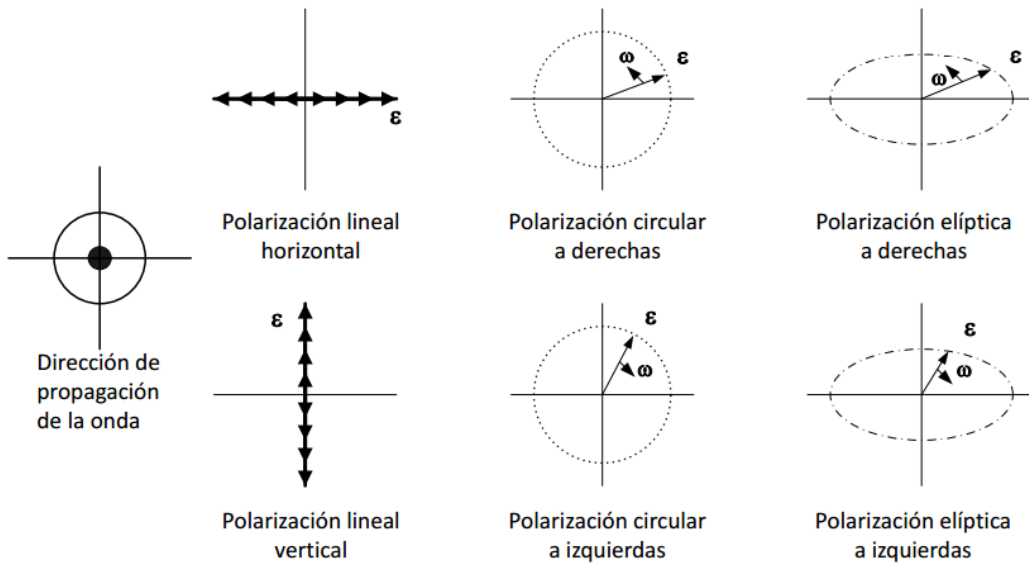


Figura 2.3 - Polarización lineal, circular y elíptica

El sentido de giro de campo eléctrico, tanto en polarización circular como elíptica, es hacia la derecha cuando la onda se aleja del observador, rota el campo en el sentido de las agujas del reloj, y hacia la izquierda si el sentido es contrario.

2.1.1.8 Eficiencia

Un parámetro que indica la capacidad de una antena para radiar es la eficiencia, la cual es una relación entre la potencia radiada y la potencia de entrada. La eficiencia total de una antena se utiliza para tener en cuenta las pérdidas en las terminales de entrada y dentro de la estructura de la antena; tales pérdidas se deben principalmente a reflexiones por la falta de correspondencia entre la línea de transmisión y la antena. La eficiencia puede ser escrita como la relación de la potencia radiada a la potencia de entrada de la antena.

2.1.1.9 Ángulos de elevación y acimut

El ángulo de elevación es el cual se forma entre la dirección de movimiento de una onda electromagnética irradiada por la antena en la estación terrestre y el plano horizontal. Este ángulo es para posicionar dicha antena hacia el satélite, en donde mientras menor sea el ángulo de elevación mayor será la distancia que recorrerá la onda propagada. Como en el caso de cualquier onda propagada por la atmósfera terrestre, sufre absorción, y también se puede contaminar mucho con ruido; en consecuencia, si el ángulo de elevación es muy pequeño y la distancia que la onda viaja por la atmósfera terrestre es demasiado grande, la onda se puede deteriorar hasta el grado de ya no proporcionar una calidad aceptable de transmisión. En general, se considera que 5° es el ángulo de elevación mínimo aceptable.

El acimut es la distancia angular horizontal a una dirección de referencia, que puede ser el punto sur o el norte del horizonte. El ángulo de acimut se define como el ángulo horizontal de apuntamiento de una antena de estación terrestre. Para fines de navegación, el ángulo de acimut se suele medir en grados a partir del norte verdadero, en el sentido de las manecillas del reloj. Sin embargo, para las estaciones terrestres del hemisferio norte con satélites en órbitas geosíncronas, la referencia en general del ángulo de acimut es la dirección del sur verdadero (es decir, 180°). Los ángulos de elevación y de acimut dependen de la latitud y la longitud de la estación terrestre, y del satélite en órbita. Para un satélite geosíncrono en una órbita ecuatorial.

2.1.1.10 Rango

La distancia que hay entre una estación terrena y un satélite se denomina rango. Esta distancia puede ser calculada a partir de la geometría de la figura 2.4 [3].

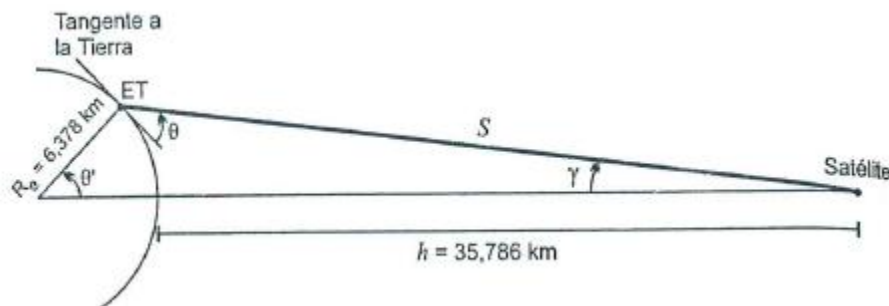


Figura 2.4 - Distancia entre una estación terrena y el satélite (rango)

2.1.1.11 Atenuación

El análisis de los eventos meteorológicos ayuda a determinar los efectos de la atmósfera en las ondas electromagnéticas. La atmósfera puede reflejar y dispersar las ondas electromagnéticas, también puede doblarlas, cambiar su polarización o atenuarlas.

Para su estudio, la atmósfera se subdivide en capas según la altura sobre el nivel del mar, quedando como sigue:

- Troposfera - $h \leq 16\text{Km}$.
- Estratosfera - $16\text{Km} \leq h \leq 50\text{Km}$.
- Mesosfera - $50\text{Km} \leq h \leq 85\text{Km}$. Ionosfera
- Termosfera - $85\text{Km} \leq h$ [7]

Las bandas de frecuencia que se ven afectadas por interferencia en la capa ionosférica son la VHF y UHF. La banda SHF presenta pérdidas por difracción y dispersión, relativa atenuación por lluvia hacia la media y alta banda. La banda EHF presenta severas pérdidas por atenuación tanto en dispersión como en absorción.

Atenuación en el espacio libre

Es necesario analizar el comportamiento de la onda electromagnética que parte de una antena y se irradia en el espacio libre. Este fenómeno se refiere a la pérdida de intensidad de la señal entre un transmisor y un receptor en una región sin obstáculos y atmósfera normal.

Atenuación por dispersión

A medida que se aleja un frente de onda de la fuente, el campo electromagnético continuo que irradia la fuente se dispersa. Las ondas se alejan cada vez más entre sí y en consecuencia la cantidad de ondas por unidad de área es menor. No se pierde o disipa nada de la potencia irradiada, porque el frente de onda se aleja de la fuente; la onda solo se extiende, o se dispersa, sobre un área mayor y disminuye la densidad potencia. La reducción de densidad de potencia con la distancia equivale a una pérdida de potencia, y se le suele llamar atenuación de onda la cual se expresa en la siguiente fórmula, donde \mathcal{P}_x = Densidad de potencia (perdida en dB). [4]

$$\gamma_{\alpha} = 10 \log \frac{\mathcal{P}_1}{\mathcal{P}_2} \quad (2.3)$$

Atenuación por absorción

En la atmósfera existen átomos y moléculas de distintas sustancias, los cuales pueden absorber las ondas electromagnéticas. La absorción de onda por la atmósfera es análoga a una pérdida de potencia I^2R . Una vez absorbida, la energía se pierde para siempre, y causa una atenuación en las intensidades de voltaje y campo magnético, y una reducción correspondiente de densidad de potencia.

La absorción de las radiofrecuencias en una atmósfera normal depende de su frecuencia y es relativamente insignificante a menos de unos 10 GHz. La figura 2.5 muestra la absorción atmosférica, en decibeles por kilómetro, debida al oxígeno y al vapor de agua, para radiofrecuencias mayores de 10 GHz. Se aprecia que ciertas frecuencias se afectan más o menos por la absorción, y se producen picos y valles en las curvas.

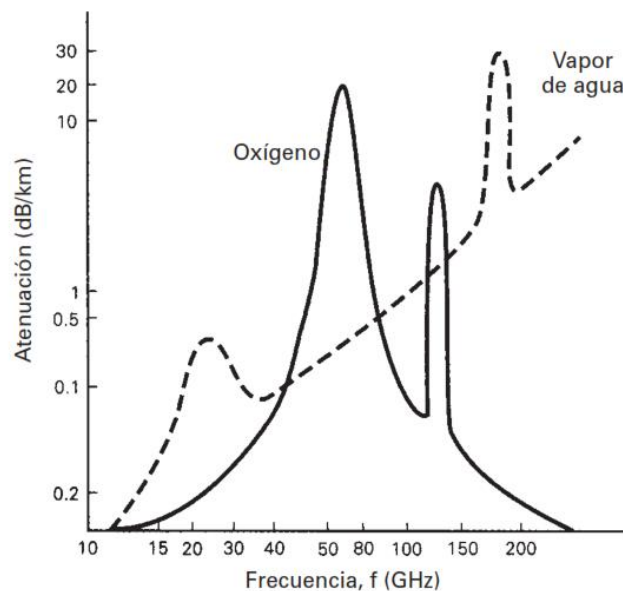


Figura 2.5 - Absorción atmosférica de las ondas electromagnéticas

La atenuación de ondas debida a la absorción no depende de la distancia a la fuente de radiación, sino más bien a la distancia total que la onda se propaga a través de la atmósfera. En otras palabras, para un medio homogéneo, cuyas propiedades son uniformes en todo él, la absorción sufrida durante el primer kilómetro de propagación es igual que la del último kilómetro. También, las condiciones atmosféricas anormales, como por ejemplo lluvias intensas o neblina densa, absorben más energía que una atmósfera normal. La absorción atmosférica se representa por η y, para una onda que se propaga de R_1 a R_2 , es $\gamma(R_2-R_1)$, siendo el coeficiente de

absorción. Así, la atenuación de onda depende de la relación R_2/R_1 , y la absorción de onda depende de la distancia entre R_1 y R_2 .

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 intensifica en las frecuencias de resonancia del vapor de agua (H_2O), oxígeno (O_2) y bióxido de carbono (CO_2). Si se considera exclusivamente el rango de frecuencias empleado por los satélites de comunicaciones, las únicas resonancias 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.

Atenuación por lluvia

Las comunicaciones por satélite arriba de los 10 GHz deben de tratar con otro tipo de atenuación originada por la lluvia. No obstante que la lluvia no es un problema en la banda de 6/4 GHz, si es un factor importante en las bandas de 14/12 y 30/20 GHz. Es por lo tanto necesaria una predicción confiable de la atenuación por lluvia para el diseño de sistemas para determinar la confiabilidad del enlace, establecer los márgenes de este y proporcionar los medios para combatir los efectos de la lluvia.

A frecuencias arriba de 10 GHz, la lluvia es el factor dominante en la propagación satelital. La atenuación por lluvia se ha estudiado ampliamente desde los años 60. Los efectos de los cristales de hielo a gran altura son de menor importancia.

La predicción de la atenuación por lluvia es un proceso estadístico y se han desarrollado muchos modelos que conducen a resultados que coinciden con las observaciones experimentales. Se considerará que si la intensidad de la lluvia R es constante en una trayectoria de longitud L [Km], la atenuación A originada por la lluvia estará dada por la ecuación 2.4 que se muestra enseguida.

$$A = aR^bL \text{ [dB]} \quad (2.4)$$

A la cantidad aR^b se le conoce como la atenuación específica y tiene como unidades dB/Km. Los coeficientes a y b dependen principalmente de la frecuencia, la polarización, de la temperatura de la lluvia y de otros factores.

2.1.1.12 Tiempo de retardo y latencia

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.

En los sistemas de transmisión de datos con acceso TDMA son más importantes las variaciones en el tiempo de retardo que el propio tiempo de retardo, es decir, hay que considerar la derivada del rango con relación al tiempo, particularmente en las constelaciones de órbita baja e intermedia. El problema del retardo puede ser resuelto con protocolos y códigos adecuados, por ejemplo, el uso de FEC (Forward Error Correction, Corrección de Errores Hacia Adelante) y una unidad de compensación de retraso o DCU (Delay Compensation Unit) en cada estación terrena.

De igual forma, hay que tomar en cuenta el tiempo de procesamiento de datos, especialmente en aplicaciones interactivas, lo cual conduce a un tiempo total de retardo (ida y vuelta) del orden de 0.55 segundos conocido como tiempo de viaje redondo o RTT (Round Trip Time), o simplemente como latencia [3].

2.1.1.13 Potencia isotrópica radiada equivalente (PIRE)

En sistemas de comunicaciones, la Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE) es la cantidad de potencia que emitiría una antena isotrópica teórica (es decir, aquella que distribuye la potencia exactamente igual en todas direcciones) para producir la densidad de potencia observada en la dirección de máxima ganancia de una antena. La PIRE tiene en cuenta las pérdidas de la línea de transmisión y en los conectores e incluye la ganancia de la antena y se expresa habitualmente en dB respecto a una potencia de referencia emitida por una potencia de señal equivalente. [11]

A través de la PIRE podemos comparar diferentes emisores, sin importar el tipo, tamaño o forma. Conociendo el valor de la PIRE y ganancia de la antena real podemos calcular la potencia y el campo electromagnético.

2.1.1.14 Ruido

Por ruido se entiende cualquier señal no deseada que tiene frecuencias o armónicas dentro de la misma banda útil de un sistema de comunicaciones, que tiende a enmascarar a la señal deseada, pues sus potencias se superponen. Si la señal deseada no es lo suficientemente más alta o fuerte que el ruido, el simple hecho de que el receptor amplifique no servirá para nada, ya que dicho aparato amplifica por

igual tanto a la señal deseada como al ruido; ya que todo equipo electrónico añade ruido interno al sistema de comunicaciones.

De esto se concluye que un enlace satelital bien diseñado debe garantizar que la proporción de potencias entre la señal deseada o portadora y el ruido sea mayor o igual que cierto valor de umbral, de tal modo que la señal recuperada sea útil. Los valores o niveles de umbral varían según el tipo de señal y su uso final.

2.2 Técnicas de multiplexaje

La forma de como poder combinar señales de información que provienen de diversos puntos y obtener de esta combinación una sola señal portadora más eficiente es a través de las técnicas de multiplexaje. El multiplexaje nos sirve para transmitir más una fuente o señal a más de un destino a través del mismo medio por el cual se transmite, en donde varía el dominio el cual queremos emplear, ya sea por fase, tiempo, frecuencia o código.

2.2.1 Multiplexaje por división de frecuencia (FDM)

Es una técnica en donde el total del ancho de banda de en un medio de comunicación es dividido en distintas bandas de frecuencia con el objetivo de que no se mezclen o interfieran y así cada una de ellas pueda transportar una señal distinta. El ancho de banda del medio debe de ser mayor al ancho de banda de las señales transmitidas. Generalmente se emplea en sistemas análogos, aunque la señal receptora puede ser análoga o digital.

Con el uso de la telefonía alámbrica fue como se empezó a emplear esta técnica, la cual consistía en transmitir 12 canales de servicio de voz en una sola señal portadora, el cual consistió de la siguiente forma: 12 señales individuales analógicas de voz filtradas para contener solo componentes de 0.3 a 3.4 kHz se modula a igual número de portadoras espaciadas a 4 kHz por el método de banda lateral única con portadora suprimida, formando un grupo primario básico en banda base como se muestra en la figura 2.6.

La primera portadora tiene 108 y la última 64 kHz, y como en cada caso se suprime la banda lateral superior, la información de cada canal queda separada en frecuencia de las de los demás sin causarse interferencia, aunque estén unidos en una sola señal a la salida del amplificador sumador, ocupando la banda de base resultante de dicho grupo de 60 a 108 kHz.

Con 5 grupos primarios trasladados a frecuencias distintas (cada uno en una sola operación con sus 12 canales) se forma un grupo secundario con 60 canales, también llamado súper grupo, preferentemente de 312 a 552 kHz en el caso de redes terrenales, de la misma manera en que se realiza la traslación en un

convertidor de subida por mezcla con las ondas producidas por un oscilador local. Si es necesario, pueden usarse varios grupos secundarios que por el mismo proceso se multiplexan para transmitir un mayor número de canales telefónicos, formando lo que se denomina una jerarquía que incluye diversos pasos de agrupamiento hasta llegar a 3600 canales. [5]

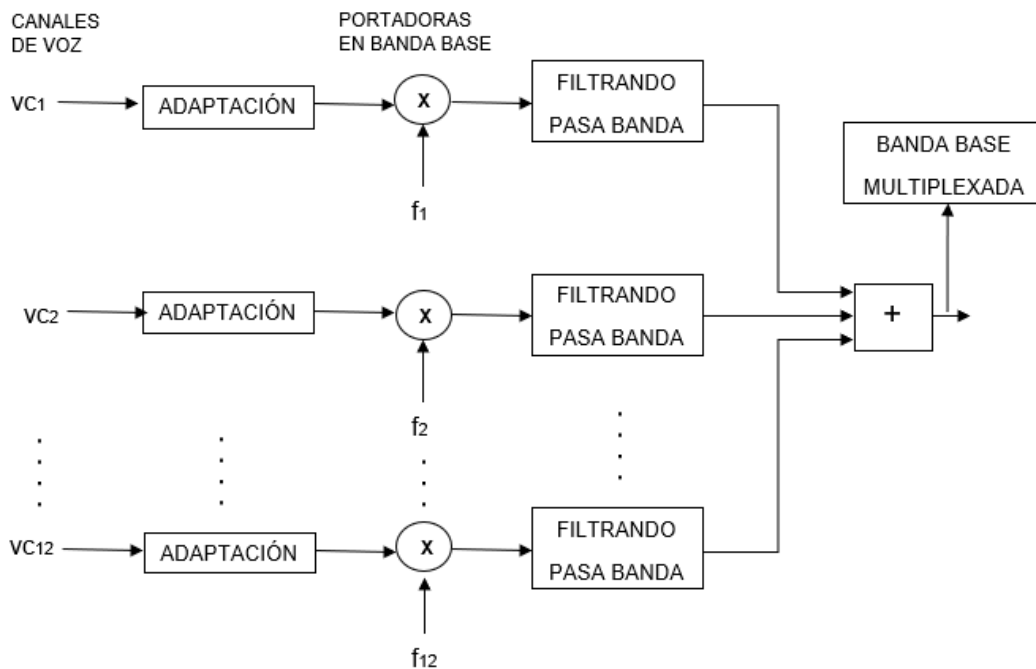


Figura 2.6 - Multiplexaje por división de frecuencia de canales telefónicos analógicos

2.2.2 Multiplexaje por división de tiempo (TDM)

La principal función de este tipo de multiplexaje es poder realizar asignaciones a distintos usuarios en el total de ancho de banda a través de las “ranuras de tiempo” disponibles. Para lograrlo se necesita organizar en “tramas” la señal de salida y a su vez asignando espacios de tiempo fijos dentro de ellas a los canales de entrada.

Con este tipo de multiplexaje se comparte un mismo medio de comunicación para distintas señales digitales, comprimiendo en el tiempo sus trenes de impulso y intercambiándolos en secuencia de una sola señal en banda base antes de pasar por la modulación.

En cada punto de destino se encaminan los trenes de ondas correspondientes al circuito o circuitos que utiliza, después de separarlos y expandirlos a la duración que tenían originalmente, llenando los espacios temporales que queda al desechar las demás señales.

La forma en que la trama se compone es la siguiente: el primer canal corresponde a la primera comunicación y así consecutivamente hasta que el último vuelva a corresponder a la primera comunicación. En la figura 2.7 se muestra lo que es un sistema TDM (Multiplexaje por División de Tiempo).

La gran ventaja que tiene este tipo de multiplexaje es que, si la señal que contiene la portadora llega a ocupar el total del ancho de banda del transpondedor, la señal moduladora se muestra como una sola, esto hace que no se produzca una intermodulación y se puede operar en saturación, teniendo mejora en la relación señal a ruido a la vez.

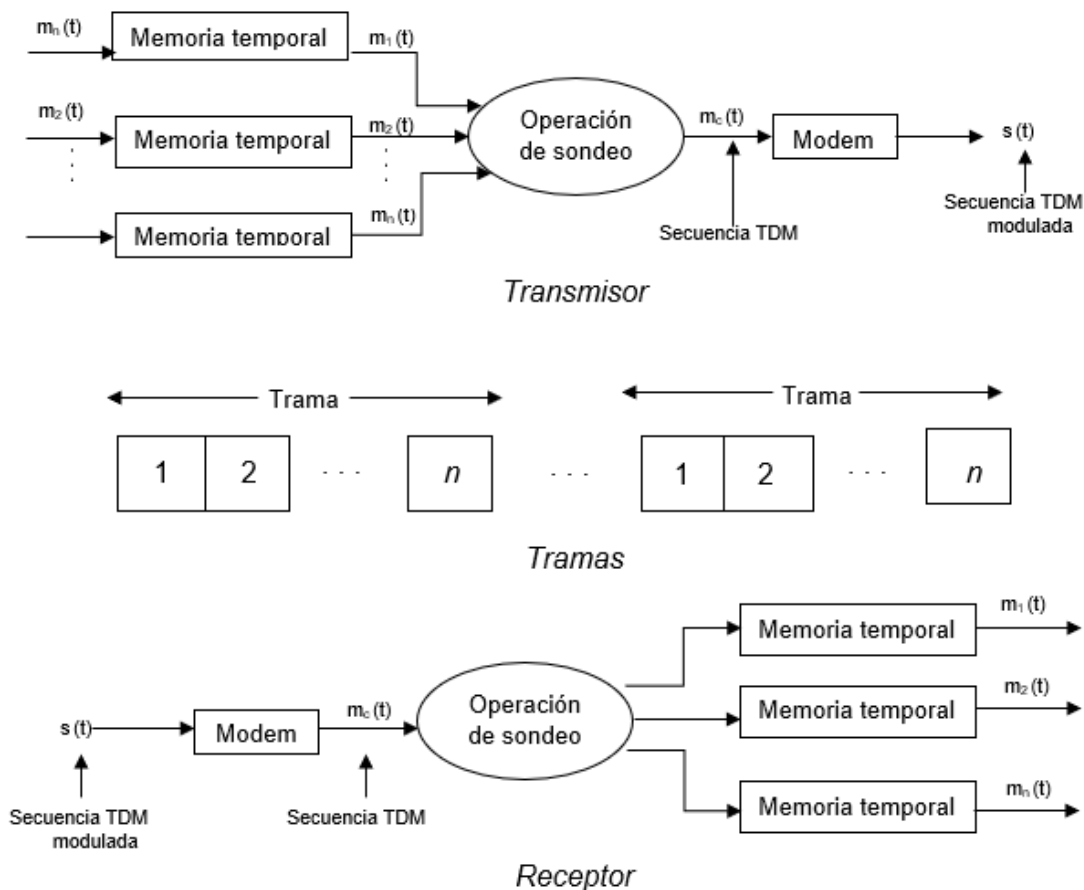
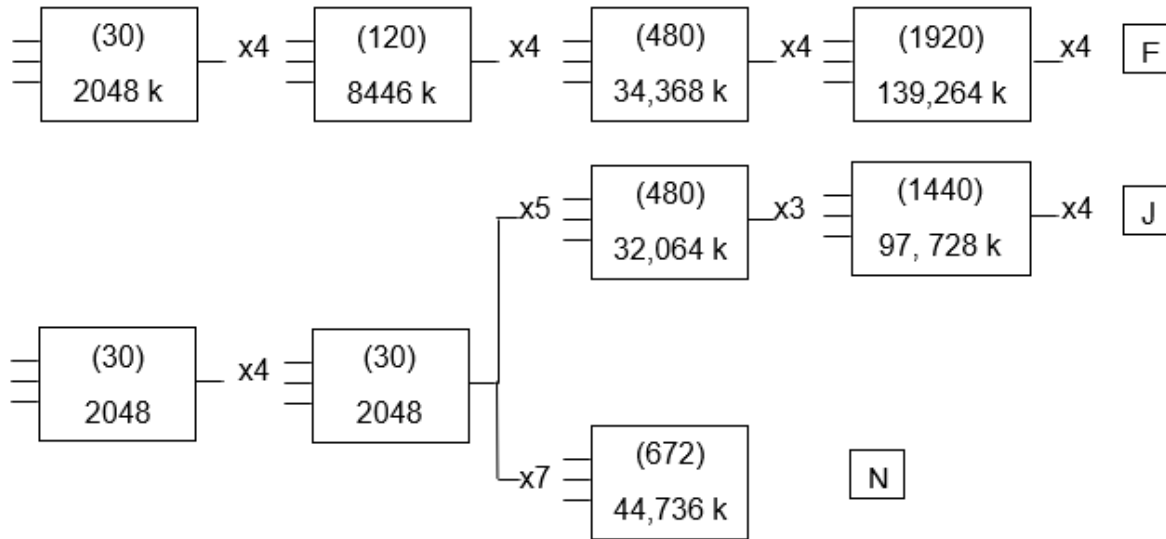


Figura 2.7- Sistema TDM

Otra ventaja de este método de multiplexaje es que, al combinar las señales digitales en secuencia, en una sola portadora de amplitud constante, las hace menos vulnerables a interacciones entre ellas mismas, y más resistentes a

interferencias. Los multiplexores digitales, aunque pueden ser muy complejos son compactos y fiables gracias a los microcircuitos. [4]

En canales telefónicos existen jerarquías recomendadas por la UIT para este tipo de multiplexaje por división de tiempo, las cuales se emplean principalmente en Europa (E), Japón (J), y Norteamérica (N) como se muestra en la siguiente figura 2.8.



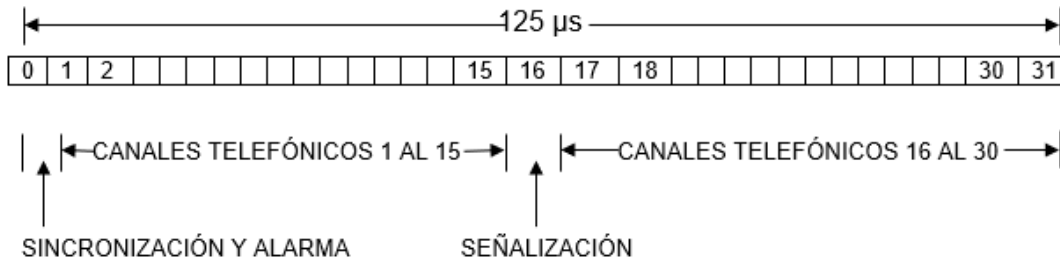
(#) = Capacidad en canales equivalentes

k = kbits/s

Figura 2.8 - Jerarquías recomendadas por la UIT para el multiplexaje por división de tiempo de canales telefónicos

En la norma norteamericana existen actualmente variantes en donde el multiplexor de primer orden tiene la posibilidad de operar con señales de 56 o 64 kbits/s, y con la opción de una cuarta etapa. Las designaciones actualmente se les conocen como MUX T1, T2, T3 y T4, siendo estas últimas siglas con las que también se designa a las portadoras que conducen las señales de salida de cada uno de estos.

En un multiplexor de primer orden como se muestra en la figura 2.9 cada trama tiene duración de $125 \mu s$, dividida en 32 ranuras de tiempo numeradas del 0 al 31, con una palabra de 8 bits en cada una, por lo que en total tiene 256 bits. Las ranuras del 1 al 15 se emplean para conducir información de cada uno de los canales 1 al 15, las ranuras del 17 al 31 contienen información de cada uno de los canales 16 al 30, la ranura 0 se emplea para la sincronización y otros propósitos, y la ranura 16 se emplea para discado y señalización.



*Cada ranura de tiempo de un canal contiene una palabra binaria de 8 bits.

Figura 2.9 - Estructuras y tiempos de una trama del multiplexor de primer orden para telefonía

Con este tipo de multiplexaje es necesario tomar en cuenta los 0.128 Mbits/s de manera adicional al contenido de tráfico en una palabra binaria, ya que es de suma importancia para la sincronización de señales transmitidas y recibidas, ya que esta palabra binaria se usa como referencia de sincronización por el multiplexor destino. Este multiplexor destino no solo tiene que reconocer el inicio de la secuencia, deberá operar a la misma frecuencia del transmisor.

La clase más común de modulación que se usa en TDM (multiplexaje por división de tiempo) es la PCM (Modulación por código de pulso). En este tipo de sistema TDM-PCM, se muestrean dos o más canales de banda de voz, se convierten a códigos PCM y a continuación se multiplexan por división de tiempo a través de un medio. [5]

2.2.3 Multiplexaje por división de código (CDM)

Está basado en el uso de diferentes codificaciones para cada uno de los canales que se lleguen a utilizar, los cuales pueden ser transmitidos compartiendo frecuencia y tiempo simultáneamente.

En los sistemas CDM todos los usuarios transmiten en el mismo ancho de banda simultáneamente, a los sistemas que utilizan este concepto se les denomina "sistemas de espectro disperso". En esta técnica de transmisión, el espectro de frecuencias de una señal de datos es esparcido usando un código no relacionado con dicha señal. Como resultado el ancho de banda es mucho mayor. En vez de utilizar las ranuras de tiempo o frecuencias, como lo hacen las tecnologías tradicionales, usa códigos matemáticos para transmitir y distinguir entre conversaciones inalámbricas múltiples. [12]

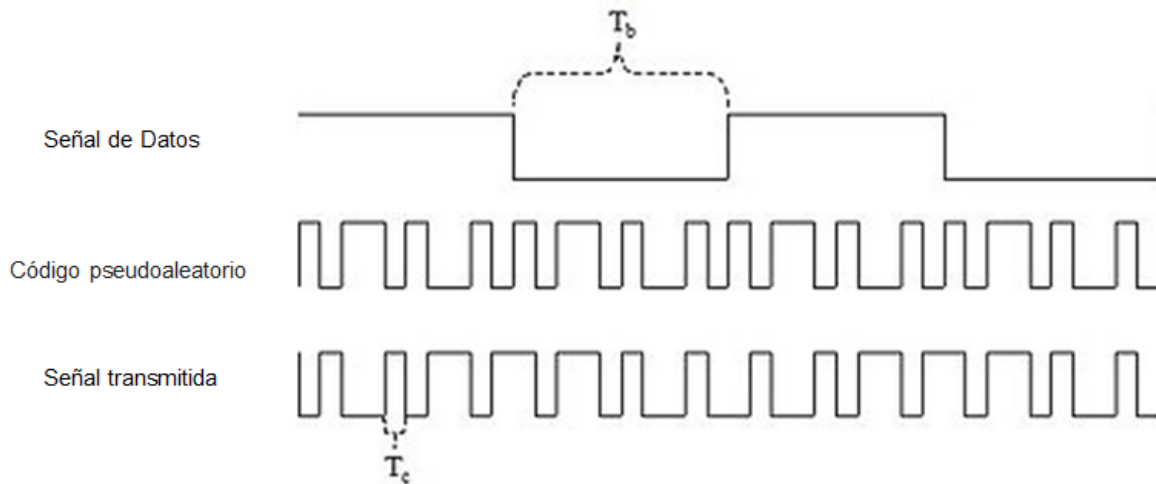


Figura 2.10 - Esquema de espectro CDM

2.3 Técnicas de acceso múltiple

Las técnicas de acceso múltiple son la forma de cómo se pueden compartir el segmento de espacio entre las señales que provienen de diferentes estaciones terrenas, es así como obtienen acceso los recursos de potencia y ancho de banda de los transpondedores, a continuación, se describen las técnicas de acceso con mayor uso.

2.3.1 Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA)

Es la primera técnica de acceso y con mayor uso tanto en señales analógicas como digitales. Para poder aplicar esta técnica basta con que una estación terrena transmita en una o más frecuencias distintas a las demás. La mayor aplicación de este acceso es en los satélites cuando el transpondedor opera con más de una portadora diferente en frecuencia.

Un transpondedor puede operar simultáneamente con portadoras de distinta anchura de banda, con bandas de guarda entre una y otra para reducir los efectos mutuos, frecuentemente de 10% de la anchura nominal de aquellas o mayores como se muestra en la figura 2.11.

Cuando la capacidad del transpondedor se distribuye entre pocas portadoras generalmente éstas no tienen una gran disparidad en sus capacidades, y se pueden establecer guardas proporcionalmente pequeñas entre ellas en forma óptima. No obstante, cuando un transpondedor se destina a un alto número de portadoras, sean en número previamente determinado o en número indeterminado, y de anchura de

2.3.2 Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)

Esta técnica de acceso múltiple consiste en compartir la capacidad de una sola portadora por todas las estaciones existentes de la red mediante turnos de utilización, de tal forma que el tráfico de entrada como de salida puede ser continuo.

Tiene la capacidad de permitir que cada una de las estaciones se comuniquen con cualquier otra, es decir la red con configuración malla y con la flexibilidad para modificar la cantidad y distribución de tráfico entre cada una de las estaciones.

Esta técnica solo se aplica a señales portadoras digitales. El transpondedor puede operar a la potencia total de saturación con un aumento en la PIRE descendente, así es como se obtiene una gran ventaja en la relación C/N por el aumento en la PIRE de la portadora y por eliminarse el ruido de la intermodulación.

Este tipo de acceso es adecuado para redes de gran capacidad de telefonía y datos. Cada estación de una red TDMA transmite a una misma frecuencia, pero en ráfagas separadas por breves guardas de tiempo, para evitar que diversos factores se superpongan. Para que cada ráfaga se transmita en el momento adecuado debe ajustarse la temporización a la distancia de cada estación al satélite. [5]

Al utilizar este tipo de acceso es recomendable colocar una estación de referencia de respaldo, ya que todas las distancias de las estaciones terrenas al satélite van cambiando al movimiento de este, la cual va a ir modificando el tiempo de acceso de cada una. Una trama está constituida por la ráfaga de referencia, la ráfaga redundante de referencia de la estación de referencia de respaldo, las ráfagas de comunicación de cada una de las estaciones de tráfico y las guardas de tiempo. Cada que termina de transmitir una ráfaga de cada una de las estaciones de la red se inicia una nueva trama. En la figura 2.12. Se puede observar la transmisión de ráfagas en las tramas.

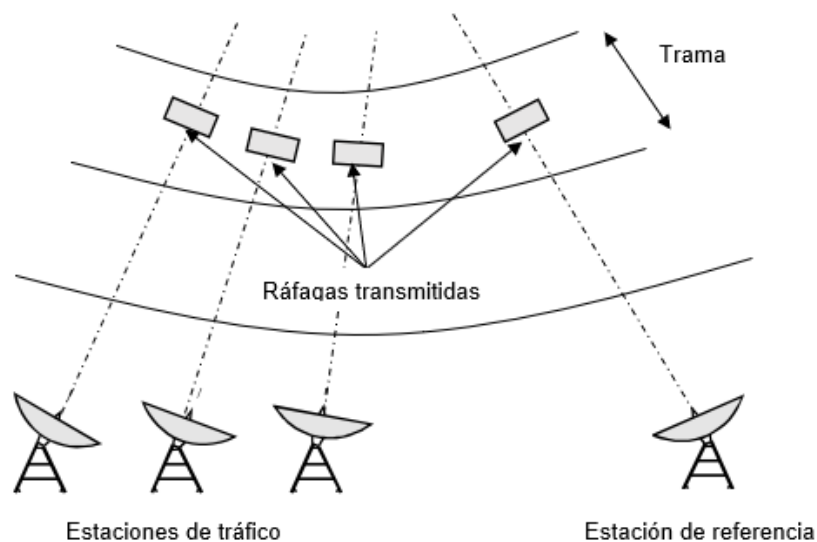


Figura 2.12 - Transmisión de estaciones terrenas de tráfico y referencia

Una misma red con este acceso puede estar dedicada a un solo servicio o distintos y al mismo tiempo, es decir, puede existir el tráfico de voz, datos y video conferencia al mismo tiempo, haciendo uso de módulos específicos para cada aplicación que se requiera.

La duración de cada una de las ráfagas puede ser distinta para cada una de las estaciones de tráfico. La guarda de tiempo entre cada una de las ráfagas depende de la sincronización, retardos causados en los equipos y de la propagación. El tiempo de inicio de la transmisión de cada ráfaga lo determina la ráfaga de sincronización de estación de referencia.

Cada una de las ráfagas contiene un tren de bits, el cual está conformado por dos partes, la primera que es la porción de preámbulo y la segunda que corresponde a la de tráfico como se muestra en la figura 2.13, excepto las ráfagas de referencia ya que no cuentan con bits de tráfico.

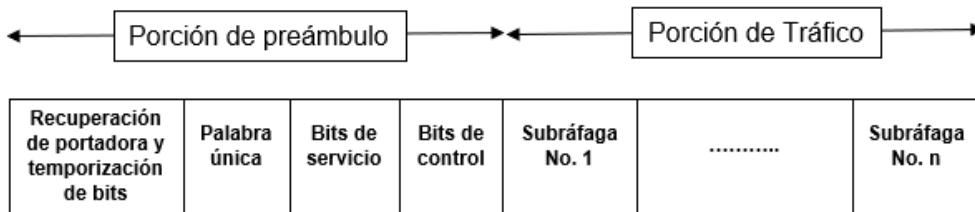


Figura 2.13 - Formato de bits por una estación de un sistema TDMA en cada ráfaga

El preámbulo contiene los bits que se utilizan para las funciones de control y sincronización de la red, el cual está construido por:

- Recuperación de portadora y temporización de bits. Hace referencia a la recuperación de la portadora por el modem receptor, el cual debe realizarse en el menor tiempo posible. Esta recuperación sincroniza su fase y la velocidad binaria.
- Palabra única se utiliza para identificar la posición inicial de la ráfaga en la trama, así como la posición de los bits en la ráfaga.
- Bits de servicio para la comunicación interna entre estaciones.
- Bits de control con información para el control de la red.

Además, puede contener fracciones de bits para identificar una estación de destino o estación de origen. La porción de tráfico en las ráfagas contiene los bits de las señales de voz, datos o video de uno o más canales.

La eficiencia de la trama es el tiempo acumulado durante el cual se transmite la información de tráfico en una trama dividido entre la duración total. Mientras mayor duración tengan las guardas y la transmisión de los preámbulos menor será la eficiencia. Su valor puede calcularse con la siguiente expresión: [5]

$$\eta = 1 - \frac{nP + n_R P_R + (n + n_R) G R_C}{R_C T} \quad (2.5)$$

Dónde:

n = Número de estaciones de tráfico.

P = Número de bits en el preámbulo de una ráfaga de tráfico.

n_R = Número de estaciones terrenas de referencia.

P_R = Número de bits en las ráfagas de referencia.

G = Duración de una guarda en segundos.

R_C = Velocidad binaria en la portadora en bits/seg.

T = Duración de la trama en segundos.

La mejor forma de aumentar la eficiencia de la trama es aumentando los bits de información de tráfico de cada ráfaga para que proporción sea más grande respecto al total, donde será necesario aumentar la capacidad de los dispositivos de memoria en las estaciones y la duración total de la trama para un mismo número de estaciones.

Para poder tener una mejor sincronización es necesario contar con una duración suficiente de las guardas y realizar el ajuste del tiempo de iniciación en la emisión de cada estación, para así poder evitar la superposición de las ráfagas.

La capacidad total de tráfico en bits/seg de una red TDMA en que el factor limitante sea la anchura de banda depende fundamentalmente de la velocidad binaria de la portadora y la eficiencia de la trama [5]. Su valor se obtiene con la siguiente fórmula:

$$R_t = R_C r \eta \quad (2.6)$$

Dónde:

R_t = Es la capacidad de bits de información de tráfico/seg disponible para el conjunto de las estaciones, incluyendo los bits agregados para el multiplexaje, si es el caso.

R_C = Es la velocidad binaria de la portadora en bits/seg.

r = Es la relación de código para corrección de errores.

η = Es la eficiencia de la trama.

2.3.3 Acceso múltiple por división de código (CDMA)

CDMA es una técnica que no lleva a cabo su acceso múltiple mediante una división de las transmisiones de los diferentes usuarios en frecuencia o tiempo, en lugar de eso hace una división asignando a cada usuario un código diferente, de esta manera es posible que múltiples usuarios puedan transmitir de manera simultánea sobre cada canal. En este tipo de comunicación digital cada usuario tiene un código pseudoaleatorio el cual es usado para transformar la señal de un usuario en una señal de banda.

CDMA se basa en la separación del espectro, que en los medios de la transmisión digital es cuando la señal ocupa una banda de frecuencia que sea considerablemente más amplia que el mínimo requerido para la transmisión de datos por otras técnicas.

Los usuarios comparten la misma banda de frecuencia y cada señal es identificada por un código especial, que actúa como una clave reconocida por el transmisor y el receptor. La señal recibida es la suma de todas las señales "combinadas", y cada receptor debe clasificar e identificar las señales que le corresponden de las demás señales. Para hacer esto utiliza un código que corresponde con el código transmitido. En la figura 2.14 se ejemplifica el CDMA.

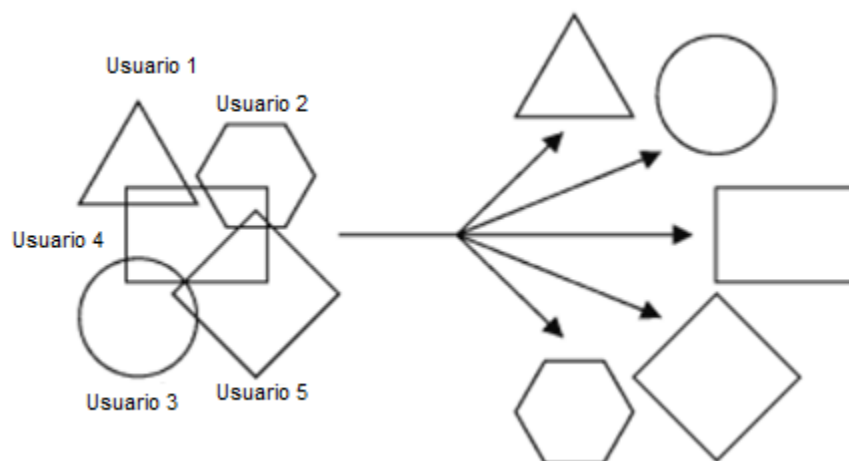


Figura 2.14 - Acceso múltiple por división de código (CDMA)

2.4 Técnicas digitales de modulación y demodulación

La modulación es un proceso que consiste en combinar una señal que representa los datos (moduladora) con otra (portadora). La señal obtenida (señal modulada) es susceptible de ser transmitida por un medio en el que, en un principio, no se podría hacer. En definitiva, la modulación permite la adaptación de una señal a un medio de transmisión, siendo una tecnología muy frecuente en telecomunicaciones, se aplica en radio, en televisión y en informática. La técnica de modulación permite hacer viajar algunas informaciones por donde no viajarían en condiciones normales. [9]

Las ventajas de usar sistemas digitales con respecto a los analógicos son variadas, las cuales pueden ser alta fiabilidad, costo menor, menos susceptibilidad al ruido, posibilidad de usar codificación para la detección y corrección de errores y la sencillez de ser implementados con circuitos integrados. La demodulación es lo contrario a la modulación y se utiliza para recuperar la señal del mensaje y la información por medio del receptor.

2.4.1 Modulación digital de amplitud (ASK)

Para este tipo de modulación se hace corresponder a todos los valores de la señal de datos con distintos valores de la amplitud de la señal que funcionara como portadora. La portadora sinusoidal adopta valores que se determinan por la señal de datos binaria (0 y 1).

Este tipo de modulación no suele usarse en la transmisión de datos ya que una desventaja considerable con la que cuenta es que es sensible al ruido eléctrico lo cual origina un rendimiento muy bajo en el manejo y transmisión de información.

En la figura 2.15 se ejemplifica el proceso de modulación ASK.

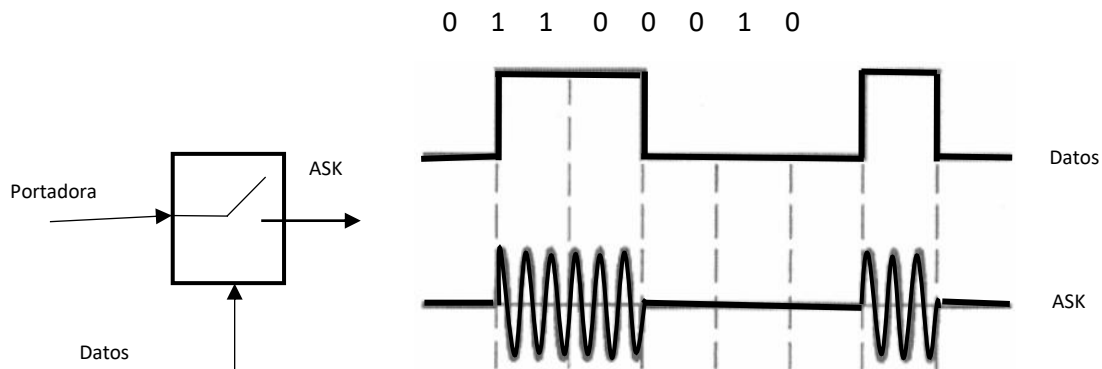


Figura 2.15- Modulación ASK

2.4.1.1 Modulación de amplitud en cuadratura (QAM)

La modulación de amplitud en cuadratura es un tipo de modulación digital en la que el mensaje está contenido tanto en la amplitud como en la fase de la señal que se transmite. Se basa en la transmisión de dos mensajes independientes por un único camino. Todo lo anterior se lleva a cabo modulando una misma señal portadora que es desfasada 90° entre cada mensaje. Esto deriva en la formación de dos canales ortogonales en el mismo ancho de banda, lo cual se resume en mayor rendimiento y eficiencia del ancho de banda.

2.4.1.2 Modulación de amplitud en cuadratura de ocho (8-QAM)

En la figura 2.16 se muestra la constelación de la modulación 8-QAM donde de acuerdo con el código de modulación el mensaje viaja en la amplitud y frecuencia de la señal. Es una técnica de codificación M-aria donde M, en este caso, es igual a 8.

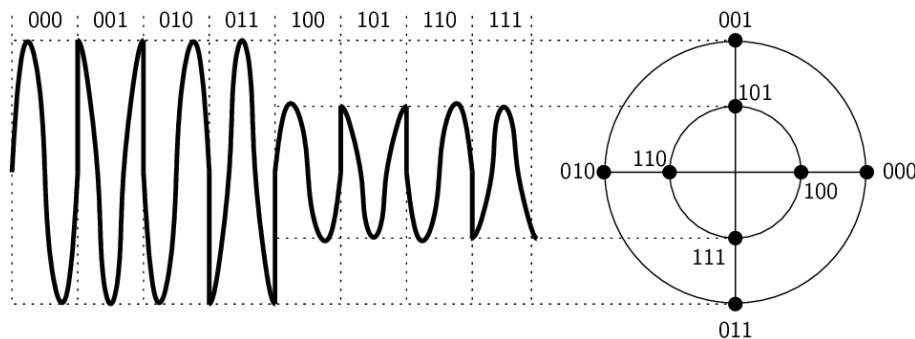


Figura 2.16 - Constelación 8-QAM

2.4.2 Modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK)

La FSK es una técnica de modulación digital relativamente simple. Puede considerarse como una forma de modulación en ángulo con envolvente constante, similar a la modulación en frecuencia convencional con la diferencia de que la moduladora es un tren de pulsos binarios con amplitud que varía entre dos niveles discretos de voltaje, en lugar de una forma de onda con variación continua. [10]

En la imagen 2.17 se muestra la forma de modulación de señales mediante FSK.

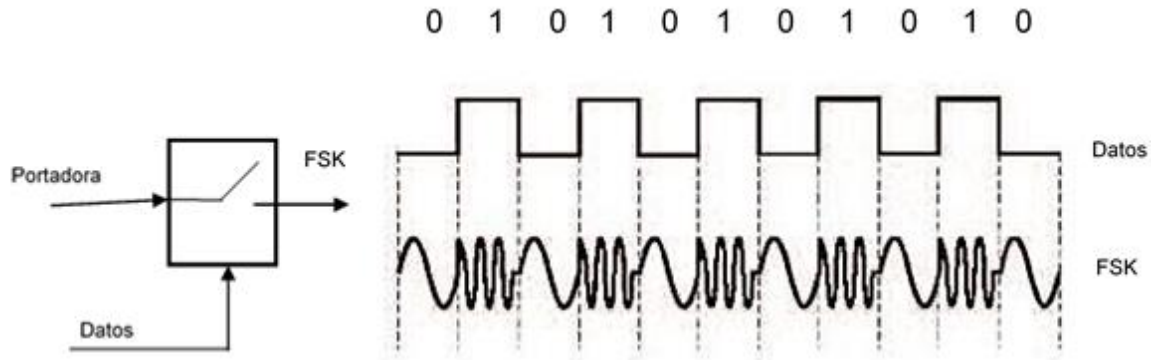


Figura 2.17 - Modulación FSK

2.4.3 Modulación por desplazamiento de fase (PSK)

En la modulación por desplazamiento de fase se mantiene una misma frecuencia y amplitud de la señal transmitida, la diferencia consiste en variar la fase algunos grados, esto depende de la información binaria que se quiere transmitir. Si la onda comienza hacia arriba se le asigna una fase de 0 y si la onda comienza hacia abajo una fase de 180°, y al hacer esto, se pueden enviar unos y ceros.

Cada valor de la señal transmitida corresponde con diversos valores de la fase de la señal portadora, por lo general se compara la fase del ciclo en un periodo con la fase del siguiente ciclo.

En la figura 2.18, se muestra la forma de modulación de señales mediante PSK.

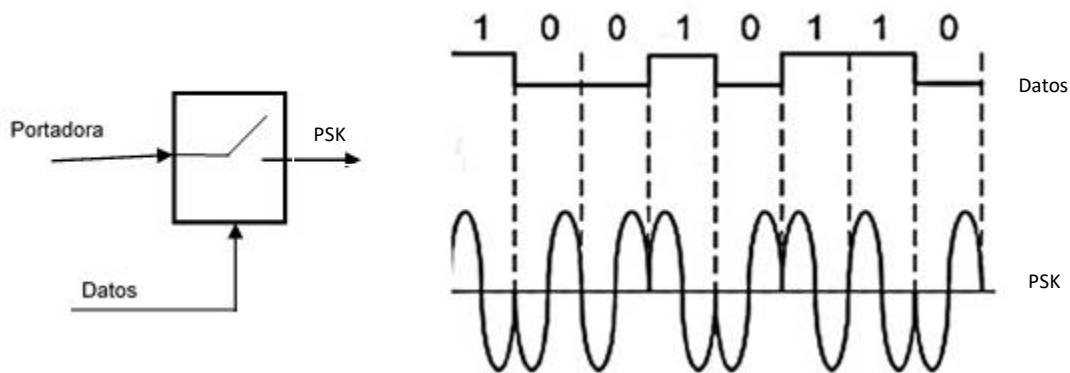


Figura 2.18 - Modulación PSK

La modulación digital que más es utilizada en los enlaces satelitales es la PSK por lo que nos concentraremos a continuación a describir sus variantes.

2.4.3.1 Modulación por desplazamiento de fase binario (BPSK)

En un sistema de modulación PSK la fase de la portadora cambia en concordancia con los bits de la banda base de la señal moduladora. Como los trenes de bits consisten en niveles discretos de voltaje (unos y ceros), es de esperarse que la fase de la portadora modulada también cambie, brinque o se desplace en pasos discretos.

El numero M de estados o fases que la portadora puede tomar depende del número N de bits de información original que sea usado para formar cada símbolo a través de la relación siguiente:

$$M = 2^N \quad (2.7)$$

Así, por ejemplo, si cada símbolo consiste en un solo bit (N = 1), entonces M = 2; esto significa que si la portadora tiene 0° de fase al principio, cuando sea modulada por un “uno” su fase puede cambiar o desplazarse mediante un paso discreto a 90°, y pasará a 270° cuando sea modulada por un “cero”; en otras palabras, cada vez que haya un cambio en la forma de un bit (de uno a cero o de cero a uno), la fase de la portadora cambia 180°, y así sucesivamente. A este tipo de modulación que consiste en sólo dos estados o fases posibles de la portadora se llama BPSK; la B que se antepone a PSK significa binaria, es decir, PSK en dos fases. [3]

2.4.3.2 Modulación por desplazamiento de fase en cuadratura (QPSK)

Si cada símbolo agrupa a dos bits (N = 2), se tiene que M = 4, o sea que la fase de la portadora puede tomar cuatro estados. En este caso la modulación es llamada QPSK donde la Q proviene del inglés quadrature (cuadratura o cuatro estados). Conforme cada símbolo contenga más y más bits, el número de estados o fases posibles sigue aumentando conforme a la ecuación 2.7. [4] En la figura 2.19 se puede observar la constelación correspondiente a QPSK.

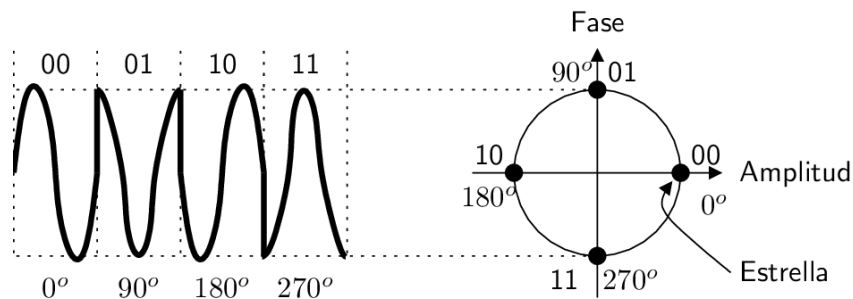


Figura 2.19 - Constelación QPSK

2.4.3.3 Modulación por desplazamiento de fase multinivel (MPSK)

En el caso de la modulación MPSK el tren de datos se divide en grupos de M bits, separados entre sí por un ángulo definido por:

$$\theta = \frac{2\pi}{N} \quad (2.8)$$



CAPÍTULO III: ESTACIÓN TERMINAL TERRENA

3 Capítulo III: Estación terminal terrena

Todo satélite es solo un nodo o punto intermedio de la red de comunicaciones de la que forma parte, la cual se complementa con las estaciones terrenas que se comunican a través de él. Una estación terrena está conformada por una serie de equipos interconectados entre sí, de los cuales el más representativo y conocido es su antena o reflector parabólico. El término “estación terrena” es utilizado indistintamente para indicar todo equipo material que se comunica desde la Tierra con el satélite sin importar si está fijo en algún punto, o si está instalado en un barco, avión, o cualquier vehículo terrestre como un autobús, un auto o un camión de carga. [3]

3.1 Diagrama de una estación terrena (configuración redundante)

En la figura 3.1 se muestra el diagrama de una estación terrena con configuración redundante.

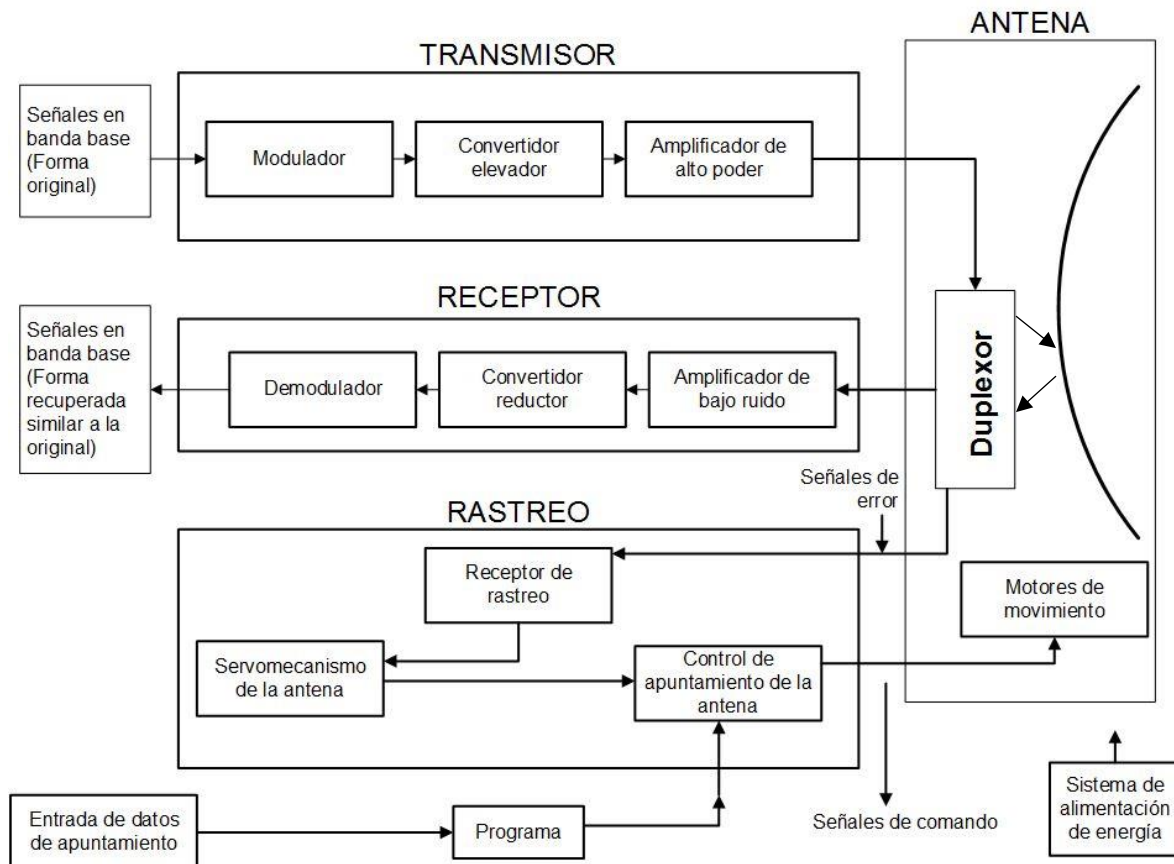


Figura 3.1 - Estación terrena con configuración redundante

3.2 Componentes de una estación terrena

Los satélites tienen la función como punto intermedio en una red de comunicaciones, las cuales necesitan de estaciones terrenas para tener comunicación con él. Una estación terrena consta de una serie de equipos interconectados entre sí. Consta de un duplexor que es un dispositivo de microondas el cual transmite y recibe señales de la antena. Los principales componentes de una estación terrena se describirán a continuación.

3.2.1 Antena

La ganancia y el patrón de radiación son las principales características de una antena, la función de la ganancia es amplificar la señal que se transmite o se recibe en cualquier dirección, es el motivo por el cual en todos los casos se busca obtener la mayor ganancia posible en la dirección que se desee.

Cada antena al momento de transmitir o recibir forma un lóbulo principal y dos laterales, los lóbulos laterales deben ser lo más pequeños posibles para que la antena no llegue a tener interferencia con señales de algún otro sistema, en cambio el lóbulo principal es donde se asociará su máxima radiación a cualquier dirección que la posicionemos, este dependerá de diversos factores como lo son el diámetro de la antena, su concavidad, la rugosidad de la superficie, posición y orientación de este. Cuanto mayor es el diámetro de una antena parabólica mayor será su ganancia y su lóbulo principal será más angosto. En la figura 3.2 se muestra el patrón de radiación de las antenas parabólicas apuntando a un satélite.

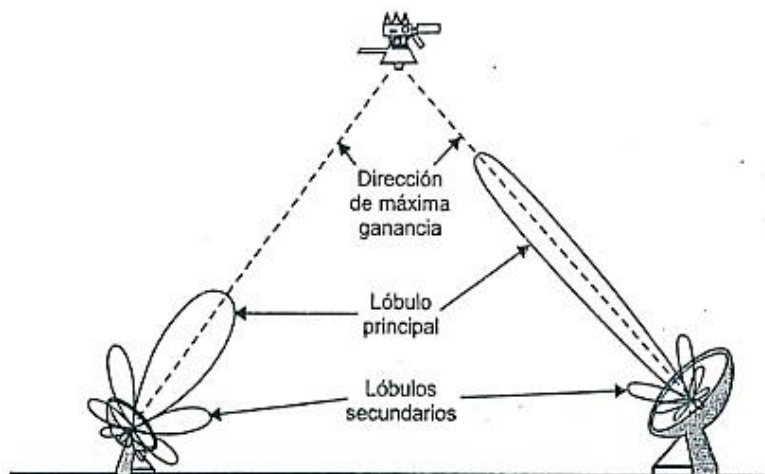


Figura 3.2 - Patrón de radiación de la antena parabólica de dos estaciones terrenas

3.2.1.1 Funcionamiento y configuraciones geométricas

El medio principal para lograr alta ganancia en las antenas consiste en utilizar uno o más reflectores, en las que sus superficies deben tener alta precisión geométrica, y deben ser eléctricamente conductoras para poder radiar nuevamente la energía que reciben de los radiadores primarios.

Los principales tipos de antena para estación terrena con un solo reflector son la de alimentación frontal y la de alimentador descentrado, parabólicas ambas. Las antenas que utilizan reflectores múltiples, de las cuales existen diversos tipos, basan su diseño en los que se originaron en la construcción de telescopios, siendo las más usadas las del diseño llamado Cassegrain, ya sea centradas o descentradas. [5] La antena de alimentación frontal se representa en la figura 3.3.

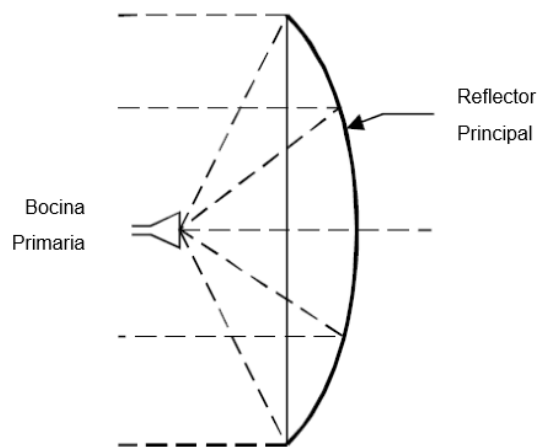


Figura 3.3 - Antena con reflector parabólico único y alimentación frontal

Toda la energía que emana del radiador primario debe ser interceptada por el reflector para evitar pérdidas por desbordamiento, esto no es completamente posible, el propio radiador primario y su soporte obstruyen parcialmente las trayectorias desde el reflector, contribuyendo al efecto de desbordamiento, y como consecuencia al aumento de amplitud de los lóbulos laterales, al mismo tiempo que se degrada el aislamiento de la polarización cruzada cuando existe.

Una solución consiste en utilizar un reflector que no sea un paraboloidesimétrico, sino que utilice solo una parte de su porción superior, pero con las dimensiones suficientes para obtener la ganancia deseada. En esta forma, el radiador primario, ubicado en el foco, puede quedar fuera de la trayectoria del haz reflejado, eliminando en gran medida los problemas de la alimentación frontal. [5]

La figura 3.4 muestra otra configuración, la Cassegrain centrada, que utiliza un subreflector o reflector secundario nominalmente hiperbólico, el cual no cambia la forma de los frentes de onda del radiador primario.

Una ventaja importante de este diseño es que el alimentador primario queda en una posición que facilita la conexión con el duplexor, el amplificador de bajo ruido y el amplificador de potencia.

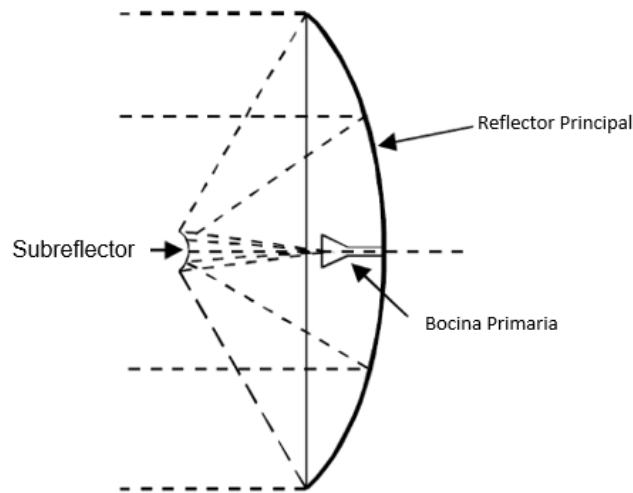


Figura 3.4 - Antena Cassegrain básica con alimentador centrado

Esta antena tiene un problema, el subreflector y sus soportes obstaculizan la radiación libre de las ondas, esto hace que se reduzca la eficiencia y aumente la radiación y recepción de energía de los lóbulos laterales.

Una de las variantes de la antena Cassegrain, conocida también como de alimentador periscópico, utiliza dos reflectores planos y 2 elipsoidales adicionales que permiten que en estaciones de gran tamaño el alimentador primario se instale en una sala de equipos exento de las rotaciones del reflector en acimut y elevación.

Otra versión con reflectores modificados, que se presenta en la figura 3.5, permite reducir considerablemente los problemas de la alimentación centrada.

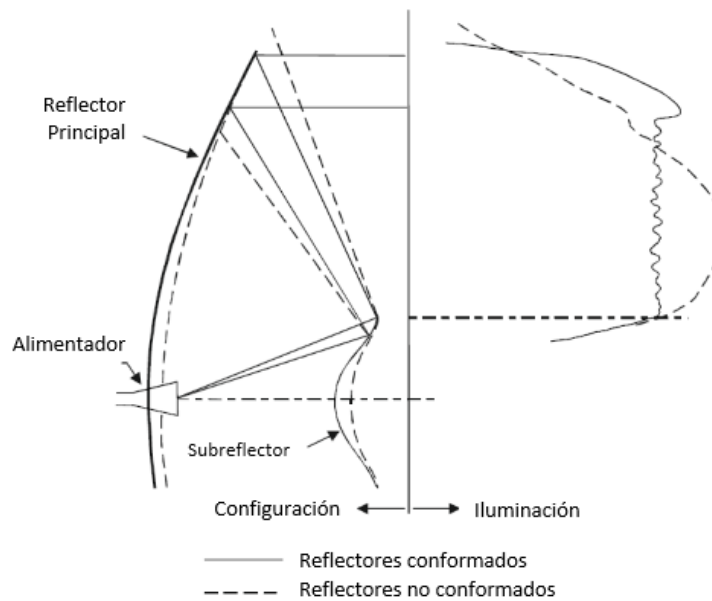


Figura 3.5 - Antena Cassagrain con reflectores de confirmación modificada

La figura, que no incluye toda la configuración de la antena sino una parte mayor de la misma muestra a la izquierda los cambios en la conformación de los reflectores con el objeto de hacer más uniforme la iluminación de la parte útil del reflector principal, y de reducir tanto la radiación de desborde como la que es obstruida por el subreflector, de acuerdo con las curvas de la sección del lado derecho. El efecto conjunto de las modificaciones consiste en la reducción de los lóbulos laterales y el aumento de los factores de eficiencia principales, que son los de apertura y de desbordamiento

Existen también las antenas Cassegrain descentradas, en las que, como en el caso de las de alimentación frontal descentrada, el reflector principal comprende la parte superior de la parábola, y en este también el subreflector se encuentra fuera del eje, con lo cual se elimina la obstrucción parcial del haz, y cuyas cualidades incluyen gran eficiencia y baja temperatura de ruido, buena accesibilidad y excelente relación de ondas estacionarias, empleándose en estaciones terrenas de tamaño medio.[5]

3.2.1.2 Patrones de radiación

Los patrones de radiación de las estaciones terrenas deben de tener los lóbulos laterales o secundarios con los más bajos niveles posibles, ya que como se explicaba anteriormente esto ayuda a que se tenga la menor interferencia posible con algún otro sistema de microondas. Estos patrones de radiación deben de cumplir con ciertos requerimientos mínimos establecido por organizaciones

internacionales como la UIT por sus siglas en inglés Unión Internacional de Telecomunicaciones. Por tal motivo el Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones (CCIR) de la UIT han recomendado una serie de requisitos para los patrones de radiación en antenas, lo cuales se deben de cumplir.

Para antenas de diámetro D usadas en el servicio fijo, la recomendación 580-1 de CCIR especifica que la envolvente de ganancia del patrón de radiación debe ser tal que solo sea excedida 10% por los lóbulos laterales, cuando mucho. Esta envolvente de referencia puede ser ajustada para aperturas que midan menos de 150λ . Por ejemplo, en la banda Ku, a 12 GHz, 150λ equivale a un diámetro de 3.75 m, mientras que para la banda C, a 6 GHz es el doble.

Antenas con diámetro D igual o mayor a 150λ

Todas las antenas instaladas después de 1988 deben cumplir con la siguiente envolvente ganancia G :

$$G = 29 - 25 \log \theta \quad [\text{dBi}] \quad (3.1)$$

En donde θ es el ángulo de desviación con relación al eje o dirección de máxima radiación, medido en grados. Este requerimiento debe ser cumplido para cualquier valor de θ que esté dentro de 3° del arco geoestacionario frente a la estación terrena y para valores $1^\circ \leq \theta \leq 20^\circ$.

Antenas con diámetro D , donde $100 \lambda \leq D \leq 150 \lambda$

Todas las antenas instaladas después de 1988 deben cumplir con:

$$G = 32 - 25 \log \theta \quad [\text{dBi}] \quad (3.2)$$

Todas las antenas instaladas a partir de 1991 deben cumplir con:

$$G = 29 - 25 - \log \theta \quad [\text{dBi}] \quad (3.3)$$

En donde θ es el ángulo de desviación con relación al eje o dirección de máxima radiación, medido en grados. Este requerimiento debe ser cumplido para cualquier valor de θ que este dentro de 3° del arco geoestacionario frente a la estación terrena y para valores $1^\circ \leq \theta \leq 20^\circ$.

Antenas con diámetro D, donde $35 \lambda \leq D \leq 100 \lambda$

Para este tipo de antenas pequeñas la envolvente de ganancia G debe contener cuando menos 90% de los picos de los lóbulos laterales (no exceder por más del 10%):

Todas las antenas instaladas después de 1988 deben cumplir con:

$$G = 52 - 10 \log\left(\frac{D}{\lambda}\right) - 25 \log \theta \quad [\text{dBi}] \quad (3.4)$$

Todas las antenas instaladas a partir de 1991 deben cumplir con:

$$G = 49 - 10 \log\left(\frac{D}{\lambda}\right) - 25 \log \theta \quad [\text{dBi}] \quad (3.5)$$

Aquí el rango de θ es entre $100 \lambda / D$ y $D / 5 \lambda$ grados, con $D / 5 \lambda$ no menor que 7° , que equivale al límite inferior de $D = 35 \lambda$; se debe cumplir para toda θ que este dentro de 3° del arco geoestacionario.

3.2.1.3 Alimentadores de corneta

En las estaciones terrenas de uso comercial se utiliza el tipo de antena tipo corneta, la cuales existen de apertura rectangular (corneta piramidal) o circular (corneta cónica). Este tipo de antena tienen muchas funciones como lo son: iluminar al reflector principal, separar señales en las bandas de transmisión y recepción, separar y combinar polarizaciones si el sistema es de doble polarización, y aportar señales de error de apuntamiento en los sistemas de rastreo.

Las cornetas son guías de onda que se van ensanchando para acoplar mejor las impedancias del espacio libre y de la propia guía, así es como si esta aumenta, la directividad de la corneta crece. Las cornetas cónicas son las más empleadas en

las estaciones terrenas, ya que pueden operar en polarización lineal o circular, y existen tres tipos: modo único, multimodo y modo híbrido, según se su forma de excitación.

3.2.1.4 Elevación y acimut para la antena de la estación

Para orientar la antena de una estación terrena con dirección a un satélite de órbita geostacionaria se necesitan ajustar dos ángulos, en elevación y acimut, los cuales dependen de la posición en la Tierra de la estación (latitud y longitud) y de la posición del satélite en la órbita.

En la figura 3.6 se muestra el apuntamiento hacia el satélite con el ángulo de elevación, dando como ejemplo 75° .

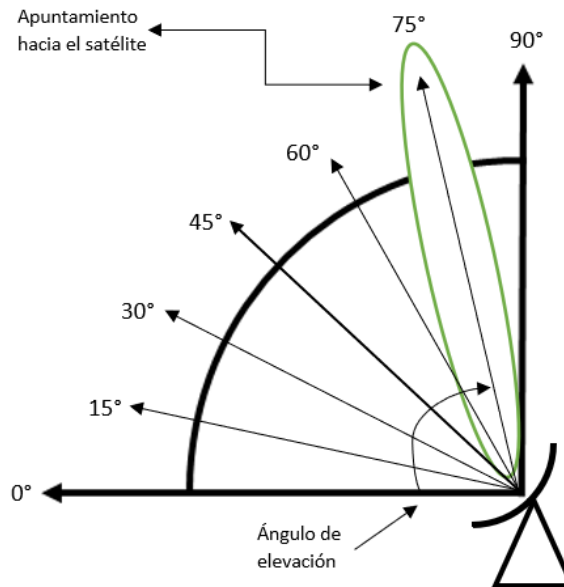


Figura 3.6 - Ángulo de elevación

La medición del ángulo de acimut es entre la línea que une a la estación terrena con la orientación hacia el norte geográfico y la proyección horizontal con dirección al satélite, que es la línea de radiación máxima de la antena.

En la figura 3.7 se muestra la orientación del ángulo de acimut con respecto al Polo Norte y el eje magnético de la Tierra.

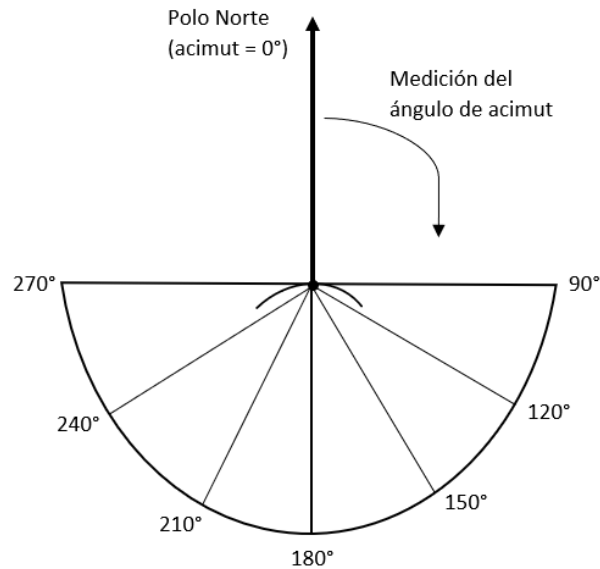


Figura 3.7 - Ángulo de acimut

Cuando es necesario cambiar la orientación de la antena de un satélite se necesita variar de una forma manual o con un sistema automatizado los dos ángulos vistos previamente y es necesario hacer correcciones mínimas de manera frecuente ya que los satélites tienden a salirse poco a poco de su posición orbital y en otros casos las antenas de la estación terrena se ven desviadas por factores naturales, como la lluvia, la nieve o el viento o hasta el mismo peso de la antena, por estos factores es necesario realizar correcciones cada determinado tiempo.

3.2.1.5 Montaje

Diversos factores determinan el tipo de estructura que tendrá el montaje de la antena (elevación - acimut, X-Y o ecuatorial) y en todos los casos tienen dos ejes para poder hacer los movimientos de orientación para la antena.

En el caso del montaje elevación - acimut cuenta con dos ejes, el primero es fijo y se mueve en dirección vertical para poder modificar el ángulo de acimut, el segundo eje es horizontal y con él se modifica el ángulo de elevación de la antena. Este tipo de montaje cuenta con la ventaja de que es muy difícil que el eje de acimut se mueva, mientras que el que es más probable y seguro casi totalmente de sufrir movimientos es el eje de elevación debido al peso de la antena. En la figura 3.8 se muestra el tipo de montaje elevación - acimut.

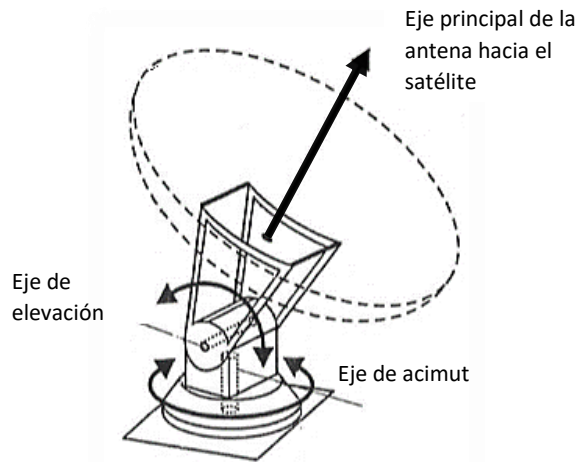


Figura 3.8 - Montaje elevación - acimut

El montaje X-Y se utiliza principalmente para satélites de órbita baja ya que tienen un eje primario colocado de forma horizontal y el eje secundario se encuentra de forma perpendicular a él. Este tipo de montaje es ideal cuando un satélite pasa por el cenit, es decir, justamente arriba de la estación terrena, en la zona ecuatorial ya que no se requiere hacer movimientos tan rápidos. En la figura 3.9 se muestra el modelo de montaje X-Y.

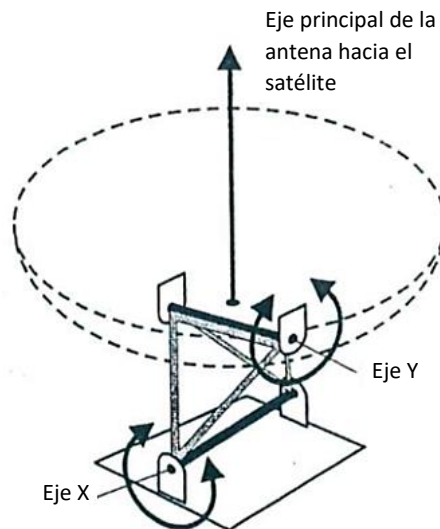


Figura 3.9 - Montaje X - Y

Con el montaje ecuatorial se cuenta con un eje primario que gira en sentido horario y es paralelo al eje de rotación de la Tierra, y respecto al eje secundario se cuenta con un eje perpendicular de declinación. El eje primario también es paralelo al eje polar de la Tierra, es por esto por lo que también es conocido de esta forma.

Este tipo de montaje facilita la orientación de antenas pequeñas o medianas localizadas en latitudes intermedias hacia distintos satélites con un solo movimiento alrededor de un eje sin importar los cambios relacionados con la declinación. En la figura 3.10 se muestra el montaje polar.

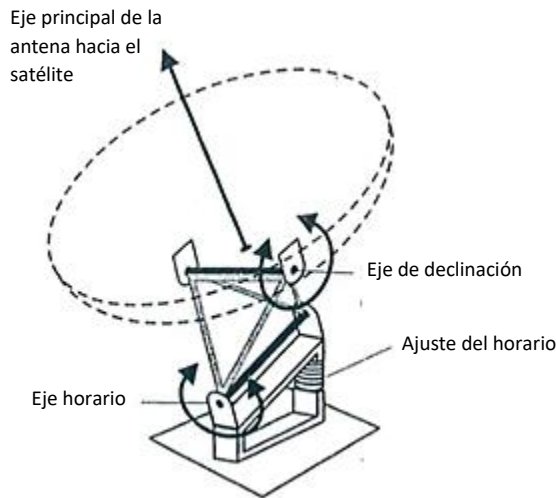


Figura 3.10 - Montaje Polar

3.2.2 Rastreo

Dependiendo de cuánto se mueva el satélite en relación con su posición designada y del ancho del haz de la antena terrestre que desee comunicarse con él, se puede requerir o no un sistema de rastreo. Cuanto más angosto sea el ancho del haz de la antena, y ésta esté más cerca del Ecuador, el apuntamiento se vuelve más importante, en especial si el satélite está directamente “encima” de la estación. En cambio, si la estación está en una latitud alejada del ecuador, la amplitud de los movimientos del satélite tiene un impacto menor en los ajustes necesarios de la orientación de la antena para seguirlo. Si el ancho del haz de la antena es mucho más grande que la ventana del satélite, entonces no se necesita un sistema de rastreo, pero la aplicación de la antena es la que dicta finalmente esta necesidad.

Existen dos tipos de rastreo, el pre programado y el automático. El rastreo pre programado consiste en determinar con anticipación los movimientos del satélite y programar acordemente el mecanismo de orientación de la antena de la estación terrena para que lo siga. El satélite no se mueve arbitraria o aleatoriamente, sino de acuerdo con la influencia de las fuerzas perturbadoras, por lo tanto, se utilizan diversos recursos como programas de computadora y sus movimientos. Las instrucciones necesarias son almacenadas y se le van proporcionando al mecanismo de seguimiento para que realice los ajustes de orientación, con lo cual se garantiza siempre una buena comunicación.

El método automático de rastreo por pasos, también conocido como de “ascenso” es empleado, por ejemplo, por todas las estaciones de tamaño medio del estándar B de Intelsat y por la mayor parte de las estaciones grandes de estándar A, así como las estaciones de los barcos. A intervalos regulares, la antena detecta la intensidad de una señal guía (radiobaliza o radiofaro) emitida por el satélite; a continuación, gira un poco (da un paso) alrededor de uno de sus ejes de montaje y compara la intensidad de la señal recibida con la anterior; si el nivel de la señal baja, entonces se mueve ahora en la dirección opuesta, y si aumenta en ese sentido, continúa dando pasos hasta detectar el nivel máximo. Todos estos movimientos por pasos, tanto en elevación como en acimut, son controlados por un procesador, y su precisión de apuntamiento depende del tamaño de los pasos, así como de la estabilidad de la señal guía y de las condiciones de propagación (centelleo atmosférico y absorción por lluvia). [3]

3.2.3 Transmisor

El equipo transmisor está conformado por tres módulos: modulador, convertidor elevador y amplificador de alta potencia. Después de que una señal ha sido generada o producida y una vez hechas las combinaciones necesarias de multiplexaje, ya sea en frecuencia o en el tiempo, 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 que también se le pueda recuperar fielmente en la estación terrena receptora, aunque su nivel de potencia sea sumamente bajo al llegar.

- 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.

- 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.
- El amplificador de alta potencia se utiliza para amplificar la señal antes de ser entregada a la antena.

3.2.4 Receptor

La antena de la estación terrena recibe simultáneamente todas las señales transmitidas por el satélite con la polarización y banda de frecuencias con las que opera. La estación, después de obtener y amplificar toda la información, debe separar o extraer sólo aquella parte que le corresponda para procesarla y dirigirla a su destino final. Hay que tomar en cuenta que posiblemente la información dirigida a una estación en particular provenga de diferentes estaciones terrenas transmisoras que funcionen con transpondedores distintos en el satélite y así la estación receptora debe extraer únicamente las porciones que le interesen, y que no necesariamente son adyacentes en frecuencia.

El amplificador (junto con la antena) son los elementos más importantes de una estación terrena receptora, y juntos definen la calidad de su operación. La ganancia G de la antena es su parámetro más importante. Por su parte, el amplificador de bajo ruido tiene una temperatura de ruido como su principal parámetro, y mientras ésta sea más baja, tanto mejor, porque el ruido que se añade a la señal es menor y la calidad de la recepción aumenta.

3.2.5 Alimentación de una estación terrena

Las estaciones transmisoras y receptoras deben contar con un sistema de alimentación de energía ininterrumpida. Las estaciones terrenas de una red de comunicaciones vía satélite tienen su propia subestación eléctrica. En condiciones normales, las estaciones obtienen la energía directamente del sistema general de distribución comercial, y la subestación regula los niveles de voltaje (sin que haya grandes variaciones) para alimentar a los equipos eléctricos y electrónicos.

Sin embargo, si la luz se va, la subestación queda también sin energía, y entonces es preciso que algún sistema de reserva entre en operación inmediatamente. La potencia que este sistema de reserva debe proporcionar es muy grande, entre 50 y 100 KVA, de la cual aproximadamente 80% es consumida por los amplificadores de potencia. Los sistemas de reserva más comunes son inmensos bancos de baterías y motores alternadores con volantes de inercia; es muy importante que estos

equipos tengan un mantenimiento adecuado y que las reservas de diésel para los motores estén siempre aseguradas. [3]

3.3 Terminal de apertura muy pequeña (VSAT)

Las redes VSAT (Very Small Aperture Terminals, Terminal de Apertura Muy Pequeña) son redes privadas de comunicación, diseñadas a la medida de las necesidades de las compañías que las usan, de datos vía satélite para intercambio de información punto a punto o, punto a multipunto o interactiva. Estas redes se basan en el establecimiento de enlaces entre una o un gran número de estaciones equipadas con antenas de un tamaño pequeño con una estación central que llamada HUB utilizando un satélite.

Los sistemas VSAT dan la posibilidad de ofrecer variedad de servicios con cobertura casi total, es decir, que se puede acceder a casi cualquier región incluyendo las de difícil acceso, esto es gracias a que VSAT se basa en la comunicación vía satélite, pero depende totalmente de la cobertura del satélite.

También VSAT es una alternativa de para los países en vías de desarrollo, en los que supone un menor coste inicial en comparación a cablear toda la infraestructura del país. La mayor ventaja de estos sistemas es la cobertura casi total y la disponibilidad, así como el uso de VSAT para redes privadas en las cuales se evita el uso de redes públicas, evitando la saturación de estas e intermediarios en la transmisión de datos, y también la completa configuración de la red en base a las exigencias de la empresa. En la figura 3.11 se muestra la estructura básica de funcionamiento de una VSAT.

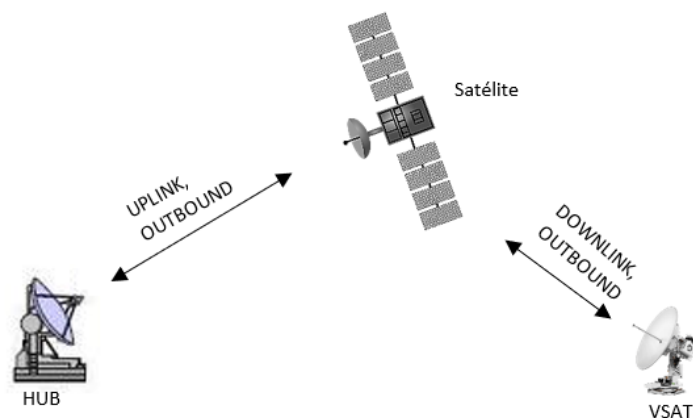


Figura 3.11 - Estructura de VSAT

El HUB es la estación central de una red VSAT, la cual consiste en una estación más dentro del HUB es la estación central de una red VSAT la cual consiste en una estación más dentro de la red, pero con la particularidad de que es más grande, y la antena está aproximadamente por los 15 metros de diámetro y maneja mayor potencia de emisión.

Las estaciones VSAT se dividen en dos partes, la unidad interior y la exterior, unida ambas por cable.

- Unidad interior (Indoor Unit): Se caracteriza por una serie de parámetros como pueden ser número de puertos, tipo de puerto y velocidad de estos. Se puede definir como una interfaz para los terminales de usuario. En el IDU se encuentra el equipo transmisor/receptor de RF.
- Unidad Exterior (Outdoor Unit): Fundamentalmente se compone de la antena y de componentes electrónicos, cables de conexión, coaxiales, etc. Los parámetros que definen esta unidad son entre otro el diagrama de radiación de la antena, la finura espectral del transmisor y el PIRE que depende de la ganancia y potencia de la señal.

El proveedor del servicio fijo de satélite que se utiliza para implementar la red con las VSAT brinda un cierto número de canales dentro de un transpondedor del satélite el cual puede llegar a administrar de 10 a 15 redes con varios cientos o miles de terminales.

El ancho de banda que se utiliza para una red VSAT es determinado por dos parámetros principales, las tasas de información que se asignen y el tipo de asignación del canal. El primer parámetro hace referencia a la velocidad de transmisión que envía el HUB hacia las terminales o también llamada tasa de outroute la cual típicamente va de 128 a 512 kbps. El segundo parámetro es el ancho de banda de acuerdo con el tipo de acceso con el que se cuente ya sea FDMA, TDMA, ALOHA, DAMA (los últimos dos se explican en el siguiente capítulo). El enlace se llama asimétrico porque se asignan diferentes anchos de banda al inroute y al outroute.

3.4 Acceso satelital TDM - TDMA

Para la optimización del canal satelital se requieren técnicas de acceso, esto para ahorro económico y depende del recurso satelital con el que se cuente medido en términos de potencia y ancho de banda del transpondedor disponible, estos dos son limitados. El objetivo principal de estas técnicas de acceso es reducir el consumo de los recursos. Las técnicas de acceso posibilitan la comunicación de las estaciones terrenas remotas simultáneamente con otras a través de un satélite de comunicaciones y guardan una estrecha relación con la técnica de modulación que se utilice.

El Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA) es un protocolo de acceso múltiple en el cual muchas estaciones terrenas en una red de comunicaciones satelitales emplean una sola portadora para la transmisión por cada transpondedor satelital en una base de división de tiempo; esto es, a todas las estaciones terrenas que operan en un mismo transpondedor se les permite que transmitan ráfagas de tráfico en una trama de tiempo periódica (trama TDMA). En la longitud de la ráfaga, cada estación terrena dispone del ancho de banda del transpondedor completo para su transmisión.

El tiempo de transmisión de las ráfagas está cuidadosamente sincronizado de tal forma que todas las ráfagas que llegan al transpondedor del satélite y que provienen de una comunidad de estaciones terrenas que pertenecen a la red están espaciadas en tiempo, pero no existe un traslape. El transpondedor del satélite recibe una ráfaga a un tiempo, la amplifica y la retransmite a la tierra. Así, cada estación terrena que recibe el haz satelital transmitido por el transpondedor puede recibir la trama de la ráfaga completa y extraer las ráfagas que son dirigidas a ella. [13] En la figura 3.12 se ejemplifica el Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA) para un satélite.

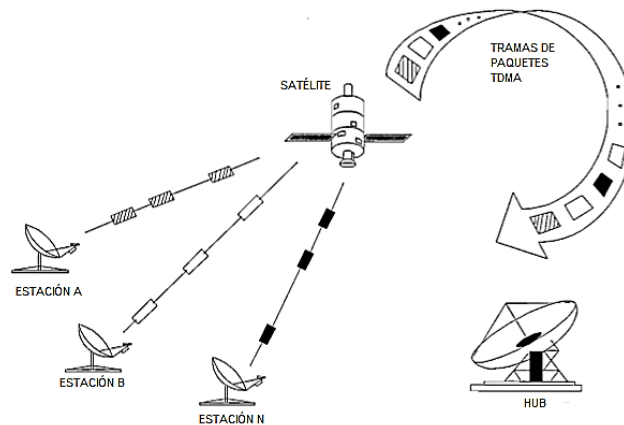


Figura 3.12 - Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA) satelital

3.5 Red satelital de comunicaciones

Un sistema de satélites, o un satélite único, puede utilizarse para realizar mediante este recurso una o varias redes de telecomunicaciones de forma independiente. Los satélites de comunicación están diseñados para cumplir con múltiples tareas y algunos otros lo están para brindar un servicio específico, estos cuentan con la capacidad suficiente para manejar redes con muchas características y generalmente se utiliza la capacidad de comunicación de estos para el ancho de banda y potencia que requiera cada una de ellas, en una parte del espectro de frecuencias con el que cuenta el satélite. Las estaciones terrenas de una red pueden ir desde tres hasta miles o millones de estas. Una red de tamaño pequeño puede ocupar más recursos en un satélite que una con un número más grande, esto debido al tipo de señales que se manejen, magnitud y tráfico de datos.

La red satelital consta de un transpondedor (dispositivo receptor-transmisor), una estación ubicada alguna parte de la tierra para controlar su funcionamiento y varias estaciones terrenas las cuales en su conjunto proporcionan las facilidades para la transmisión y recepción del tráfico de comunicaciones, a través del satélite. Cada red se diseña para las necesidades propias de los usuarios que contratan capacidad de un sistema de satélites, ya sea para señales de video, de audio, o de datos, o para una combinación de ellos, tomando en cuenta la conectividad requerida, el valor máximo y las variaciones del tráfico, la disponibilidad necesaria del enlace, y otros requisitos.

La comunicación cuenta con dos tipos de necesidades: de intercambio de información entre un punto y otro, por ejemplo, en forma de diálogo de voz o la de distribución de una misma señal de un punto hacia múltiples puntos. Para satisfacer dichas necesidades existen dos formas básicas en que las estaciones terrenas de una red pueden conectarse entre sí a través de un satélite: de punto a punto y de punto a multipunto. Cada forma de conectividad es característica de uno o más tipos de servicios o aplicaciones. [5]

Un caso común de comunicación punto a punto corresponde a una estación maestra, compartida o no, desde la cual se establecen varios enlaces con varias estaciones remotas, cada una de las cuales se comunica solo con la maestra. Los enlaces de la maestra con cada estación remota son independientes y les permiten cursar simultáneamente tráfico bidireccional utilizando frecuencias diferentes para cada uno, a fin de evitar interferencias entre ellos. Esta configuración de la comunicación se denomina en estrella y esta es la topología que se usará en el diseño de la red.

3.6 Topología de la red tipo estrella

La configuración de la comunicación en estrella puede lograrse así mismo por medio de otras tecnologías que, sin utilizar circuitos dúplex independientes con frecuencias diferentes para cada enlace, también logran evitar que las estaciones de la red se interfieran entre sí, las cuales, dependiendo de las características del tráfico, pueden ser más eficientes, porque reducen la capacidad total del satélite requerida para la red.

La complejidad de las estaciones depende del tipo de red, de su configuración y de la tecnología de acceso empleada. En una red en estrella es posible que las funciones más complejas se concentren en la estación maestra que se comunica con todas las demás y que las estaciones remotas sean relativamente sencillas.

3.7 Estación central o HUB

Las estaciones terrenas controlan la recepción con el satélite y desde el satélite, regula la interconexión entre terminales, administra los canales de salida, codifica los datos y controla la velocidad de transferencia. La estación central es la estación principal de la red y por eso mismo es también la más grande (la antena puede llegar a medir de 4 a 10 metros de diámetro y maneja más potencia de emisión P.I.R.E).

La estación central se conforma por dos elementos indispensables:

- La unidad de radiofrecuencia (RF): Este elemento es el encargado de enviar y recibir las señales para establecer el canal de comunicación con el satélite.
- La unidad interna (IDU): Esta unidad está conectada a la computadora encargada de administrar toda la red y puede estar conectada directamente o a través de una red pública con conmutación o una línea de orden privado.

El sistema de administración monitorea toda la red y realiza muchas tareas como la configuración para el funcionamiento de la red, control, monitoreo de tráfico, control de las terminales y tareas administrativas. De este depende la calidad del servicio y la respuesta a las necesidades del usuario.

3.8 Diagrama general

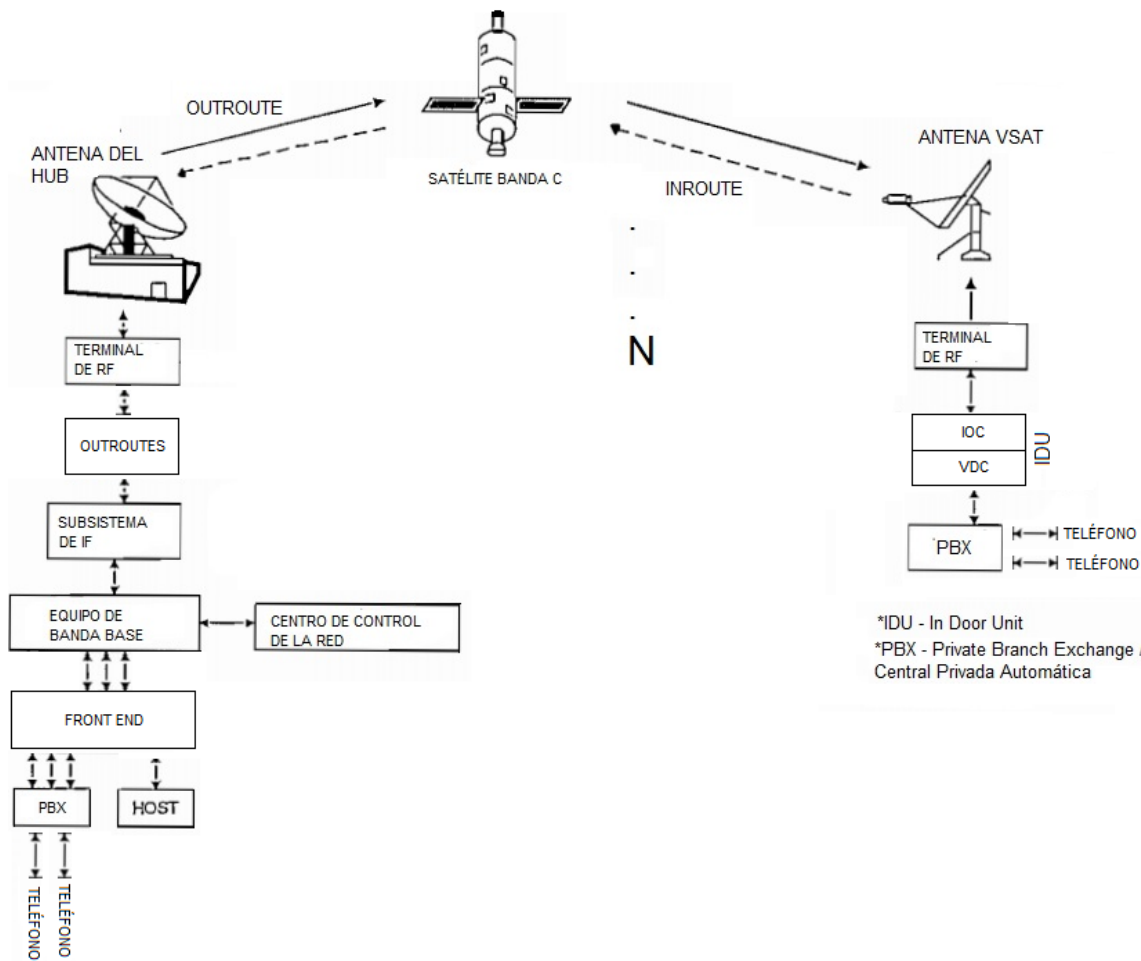


Figura 3.13 - Diagrama general de la red para transmisión de voz con topología estrella

El ancho de banda del transpondedor del satélite se divide en dos partes. La banda número uno es para los enlaces desde las estaciones remotas VSAT hasta el HUB el cual se denomina inroute, la otra parte del ancho de banda está dedicado al outroute el cual atiende los enlaces del HUB hacia las estaciones remotas.

Una red satelital para la transmisión de voz mediante la topología de tipo estrella accede en dos direcciones, la que sale del HUB (outbound) y la que entra (inbound). El outbound sale por una ruta de salida de gran velocidad que se denomina outroute, este usa la técnica de TDM para el multiplexaje de los paquetes. Cuando se desea agregar estaciones remotas se pueden agregar outroutes adicionales.

El inbound se conforma de muchas rutas de entrada que se llaman inroutes y se pueden tener varias dependiendo del tráfico de datos. El inroute también sirve como

respaldo para las demás que estén en funcionamiento. Por medio del inroute se le puede brindar servicio a múltiples remotas y el número de inroutes y outroutes dependen exclusivamente del tráfico de datos y del tiempo de respuesta.

Cada estación remota tiene que monitorear una outroute que concuerde con la de sus puertos de voz y a cada estación remota se le asigna una inroute en una frecuencia específica para la transmisión a la cual se le otorgan slots de tiempo de transmisión de una forma dinámica de acuerdo con la capacidad de petición de la remota.

3.9 Outroute

El outroute TDM es la información que proviene desde el HUB y va hacia con dirección a la estación remota, la cual está conformada por un tren de bits continuos a 512 kbps formado por paquetes de longitud variable concatenados. Los puertos del HUB se sondean regularmente, de acuerdo con la clase de servicios, permitiendo a cada puerto transmitir algunos o todos sus paquetes que están haciendo cola, antes que se le permita transmitir al siguiente puerto. Cada puerto transmite los paquetes conforme van llegando al puerto, de una manera circular (round robin).

3.9.1 Formatos de transmisión del outroute

El equipo en el HUB asigna tráfico a la portadora del outroute con base en el tráfico que se ofrece en los diferentes puertos del HUB. Este tráfico se organiza en paquetes. El tráfico se recolecta desde los diversos puertos del HUB para ser colocados en la portadora del outroute mediante el sondeo de los puertos en una forma round robin dentro de varias clases de servicios. Las clases de servicios se organizan para asegurar que los puertos en tiempo real, por ejemplo, aquellos que llevan tráfico de datos síncronos se sondeen primero. La clasificación de los puertos en clases de servicios es un parámetro de configuración del usuario.

Obsérvese que los intervalos de tiempo definidos son ultratrama, supertramas, tramas y paquetes. Los supertramas tienen una longitud de 360 *ms* y son los intervalos de tiempo más importantes en el outroute. Cada supertrama inicia con un encabezado, un paquete especial, el cual se emplea por todas las estaciones remotas, para obtener el tiempo (reloj) de la red. La idea de una trama también se define en el outroute como un instante de tiempo periódico de 45 *ms*, pero no es una característica importante debido a que los paquetes se les permite que se traslapen en las fronteras de la trama. La información de usuario y todos los datos

transmitidos dentro de la red, se convierte en paquetes. Estos paquetes son bloques de información de longitud variable los cuales tienen sus respectivas direcciones, información de control y filas de detección de error. [13]

Los formatos de estos paquetes se muestran en la figura 3.14.

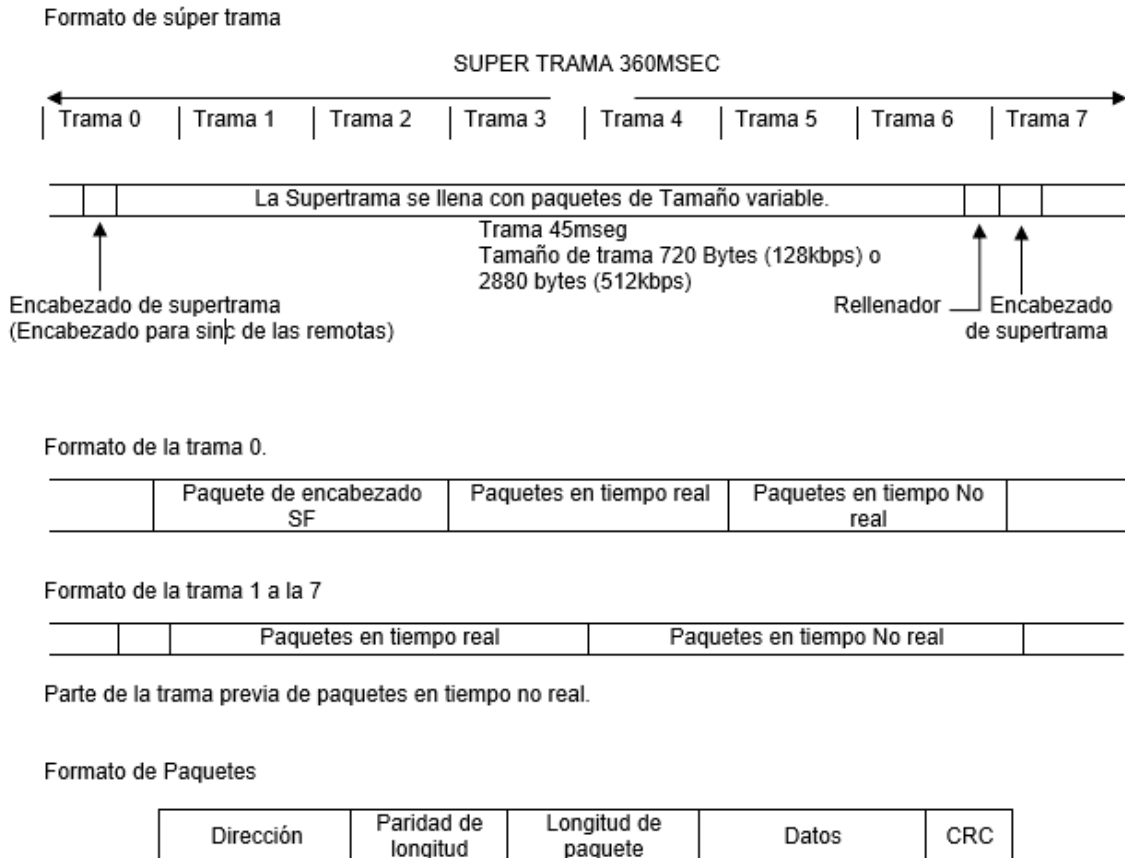


Figura 3.14 - Organización del outroute

Los paquetes del outroute empleados con trenes síncronos solamente requieren 7 bytes de overhead. La porción de datos de los paquetes está limitado a 249 bytes. La estructura de estos paquetes se muestra en la figura 4.4. La estructura de byte del control del paquete difiere del empleado en el caso de datos de bloque y depende de la aplicación. Este byte aun especifica el direccionamiento de la red.

Dirección	FEC	Longitud	Control de Paquetes	Bloque de Datos	CRC
	Dirección		2 BYTES		
	FEC		1		
	Longitud		1		
	Control de Paquete		1		
	Bloque de Datos		0-249		
	CRC		2		
			<hr/>		
			7-256 BYTES		

Figura 3.15 - Formato de paquete del outroute para datos síncronos y voz

Los paquetes de voz también requieren menos overhead que los bloques de paquetes de datos, sin embargo, la sesión de dirección se transmite para voz. La figura 3.16 muestra el formato de los paquetes de voz del outroute.

Dirección	FEC	Longitud	Control de Paquetes	Numero de Sesión	Bloque de Datos	CRC
	Dirección		2 BYTES			
	FEC		1			
	Longitud		1			
	Control de Paquete		1			
	Numero de Sesión		1			
	Bloque de Datos		0-249			
	CRC		2			
			<hr/>			
			8-256 BYTES			

Figura 3.16 - Formato de paquete del outroute para cadenas de voz

3.10 Inroute

El inroute consiste en la información que es enviada desde la estación remota con dirección al HUB y las portadoras de inroute de 128 Kbps se comparten entre un conjunto de estaciones terrenas remotas empleando técnica de Acceso Múltiple por División de Tiempo. La capacidad de la portadora se comparte por los puertos asociados con el conjunto de estaciones terrenas asignadas a la portadora usando un algoritmo de asignación por demanda integrada que soporta la asignación de la capacidad en la base de un acceso aleatorio (ALOHA ranurado), reservaciones de transacción y asignaciones en stream (capacidad fija). Además, las asignaciones en stream pueden ser permanentes (asignado por el operador de la red) o asignado con base en la demanda en el puerto. [14]

La figura 3.17 muestra el formato de la trama del inroute. El tiempo importante en los inroutes son supertramas de 360 milisegundos, tramas de 45 ms y ráfagas con paquetes que son de longitud variable. Obsérvese que cada supertrama está compuesto de 8 tramas. A diferencia del outroute, las tramas son una característica

importante del inroute y las ráfagas no pueden traslapar las fronteras de la trama. Además, la trama en general se divide en varias subtramas. Como se muestra en la figura, hay una subtrama de contención y una subtrama asignado.

La subtrama de contención se emplea para el tráfico de acceso aleatorio. Hay en general, dos categorías de tráfico de acceso aleatorio que pueden existir dentro de la red, y en este caso, la subtrama de contención puede dividirse en dos partes, una porción para el tráfico de reservación y control y una porción para el tráfico de datos del usuario.

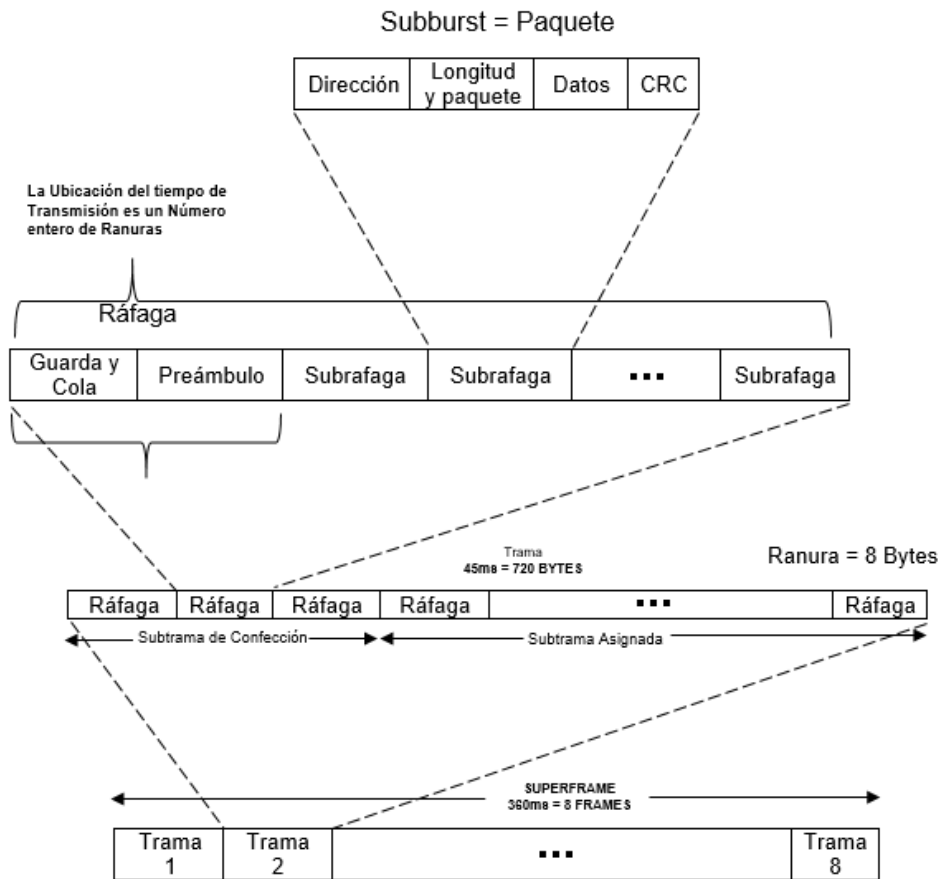


Figura 3.17 - Formato de la trama del inroute

Cada transmisión en el inroute es una ráfaga, la cual puede estar compuesta de varios subráfagas, cada una de los cuales es un paquete. En la situación normal una ráfaga contendrá un solo paquete. Cada ráfaga se compone de 8 bytes de encabezado (overhead) de la ráfaga el cual proporciona el preámbulo requerido para la recuperación del tiempo de la portadora y del bit. En el demodulador de ráfaga del HUB, una secuencia de corrección de errores requerida para inicializar la

decodificación secuencial, la cual es parte del demodulador de la ráfaga del HUB y tiempos de guarda entre ráfagas que eliminan cualquier incertidumbre de temporización (de reloj). La capacidad de transmisión para las ráfagas se asigna en unidades de ranuras de 8 bytes. Así, la longitud total de la ráfaga es siempre un múltiplo entero de 8 bytes, aún si la ráfaga es corta. [5]

Los subráfagas son paquetes direccionados individualmente y de longitud variable con exactamente el mismo formato de paquetes como el empleado en el outroute.

El outroute usa para la trama Multiplexaje por División de Tiempo (TDM) dividido en supertramas que duran 360 *ms*. Las supertramas se dividen en 8 tramas que duran 45 *ms* y contienen paquetes de datos. Los paquetes son de distintos tamaños y depende del contenido. El protocolo ODLC se utiliza para el control de errores en el enlace espacial.

Este protocolo tiene capacidad de retransmisión y verificación de errores así que los datos transmitidos no son vulnerables a errores de bits aleatorios, cuando se habilita la terminación del protocolo local. El encabezado de la supertrama contiene un número de identificación del outroute, que es único en cada outroute para sincronización. El inroute emplea un formato de trama TDMA el cual también se basa en una supertrama de 360 *ms* dividida en 8 tramas de 45 *ms*. Dentro de las tramas TDMA, el inroute puede contener una serie de ráfagas TDMA.

Estas ráfagas son de longitud variable y pueden contener una serie de paquetes. El inicio de cada ráfaga se indica por el preámbulo, el cual es usado por el HUB para detectar el inicio de la ráfaga, su correspondiente fase de portadora y el tiempo del reloj. El preámbulo es seguido por los paquetes de datos. El formato de los paquetes se basa en el protocolo de enlace espacial ODLC. Después de los paquetes, se cierran las ráfagas por el código corrector de error directo (Forward Error Correction).

3.11 Protocolos

Dimensionar la información que entra (inbound) es saber el número total de inroutes que se necesitan para satisfacer a todas las VSAT con las que se intercambiará información (en este caso voz) utilizando los siguientes métodos de acceso.

3.11.1 ALOHA (Acceso aleatorio)

Puede emplearse la contención ALOHA ranurado con acceso aleatorio para la transmisión de una transacción corta de datos. De este modo, un conjunto de ranuras de tiempo están disponibles a muchos usuarios para accesos espontáneos,

para enviar mensajes breves de control o de datos. Es posible para múltiples usuarios intentar transmitir simultáneamente, originando que las transacciones colisionen entre sí, requiriendo de retransmisiones.

La contención ALOHA ranurada con acceso aleatorio es adecuada para un gran número de usuarios con un ciclo de trabajo muy pequeño con transmisiones cortas de datos y en donde un tiempo promedio de respuesta corto es crucial. No obstante que los tiempos de respuesta promedio pueden minimizarse, el tiempo de respuesta ocasionalmente se derivará del promedio. Los mensajes son siempre breves. [14]

En la técnica de asignación de capacidad ALOHA ranurada, se establecen en forma lateral un conjunto de ranuras en él trama que son contendidas por un conjunto asignado de puertos remotos. Cada ranura es de un tamaño fijo y existe un número fijo de ranuras disponibles. Tanto el tamaño, el cual debe ser un múltiplo entero de 8 bytes así como el número de ranuras, son parámetros de configuración que pueden cambiarse por el operador de la red. En la figura 3.18 se muestra el formato de paquete del inroute para cadenas de voz.

Dirección	FEC	Longitud	Control de Paquetes	Numero de Sesión	Bloque de Datos	CRC
		Dirección		2 BYTES		
		FEC		1		
		Longitud		1		
		Control de Paquete		1		
		Numero de Sesión		1		
		Bloque de Datos		0-249		
		CRC		2		
				8-256 BYTES		

Figura 3.18 - Formato de paquete del inroute para cadenas de voz

Para proporcionar flexibilidad en el empleo de la técnica ALOHA ranurado, la red permite dos diferentes tamaños de canales ALOHA a enviarse en cada trama. Un tamaño del canal es fijo y corresponde al tamaño del canal asociado con el tráfico de control y reservación (32 bytes). El segundo tamaño del canal, diseñado para la transmisión del mensaje de usuario, es un parámetro de configuración variable.

El número de canales y el tamaño de cada canal del segundo tipo de ranuras ALOHA son variables en una base de inroute.

3.11.2 Stream (dedicado)

Esta técnica proporciona oportunidades de transmisiones periódicas fijas durante cada supertrama a una tarjeta de puerto remota. La distribución de capacidad puede ser en base de demanda (streams conmutados) o como streams asignados en forma fija. Esta técnica es particularmente útil para proporcionar capacidad a fuentes de datos continuos en tiempo real, voz y para ciertas aplicaciones de datos sensibles al retardo donde es importante minimizar la variabilidad del retardo.

El acceso en stream dedicado es más adecuado para un usuario con un alto rendimiento (throughput) de tráfico. Los tiempos de respuesta son muy consistentes y aproximadamente tan buenos como los tiempos de respuesta promedio del ALOHA ranurado. [14]

La técnica de stream puede ser la técnica de distribución de capacidad más eficiente para aplicaciones de alto rendimiento y puede emplearse para proporcionar muy buenos y consistentes resultados en el tiempo de respuesta.

3.11.3 Reservación

La técnica de reservación de transacción se usa para obtener capacidad asignada para una tarjeta de puerto remoto para transmitir un bloque de datos de longitud variable. La solicitud de reservación inicial se realiza usando los canales de control ALOHA de 32 bytes.

Debido al pequeño tamaño de los mensajes de reservación, estos canales de reservación pueden establecerse para proporcionar una muy baja probabilidad de colisión sin impacto dramático en la eficiencia de la capacidad de la red. Esta solicitud se procesa mediante el procesador de asignación de demanda en el HUB y la distribución de la capacidad se especifica al puerto remoto enviando un paquete desde el procesador de asignación de demanda. Cada ráfaga de distribución de la capacidad es un múltiplo entero de 8 bytes. La asignación puede hacerse en cualquier tiempo durante un supertrama. Normalmente, la asignación de capacidad estará en el primero o segundo trama después del mínimo tiempo de procesamiento permitido. [14]

Puede hacerse una reservación explícita para transmitir una transacción de datos en un tiempo, cuando a ningún otro usuario se le permite acceder al inroute. El acceso de reservación es adecuado para transacciones que a menudo son tan largas para eficientizar el uso del acceso ALOHA ranurado.

La capacidad es reservada mediante los canales ALOHA, o por un paquete de solicitud, transmitido junto con un paquete corriente de datos (piggybacking). El



acceso de reservación de transacciones emplea capacidad más eficiente para ciertos tipos de tráfico. El tiempo de respuesta para esta técnica de acceso es generalmente más grande que para las otras técnicas, pero es ciertamente más consistente. [14]

CAPÍTULO IV: DIMENSIONAMIENTO DE LA RED

4 Capítulo IV: Dimensionamiento de la red

Este capítulo abarcará lo referente al dimensionamiento del tráfico de la red con enfoque a la topología estrella utilizando la técnica de acceso TDM/TDMA para determinar el número de troncales necesarios, outroutes e inroutes, el ancho de banda para la red y así definir su viabilidad.

4.1 Tipo de Satélite

- JERARI 08 (116.8° W)

Trabaja con la banda C y cuenta con una carga útil para la banda C de 36 transpondedores de 36 MHz.

En la Tabla 4.1 se muestran los parámetros que maneja el satélite JERARI 08 en la banda C. En la tabla 4.2 las frecuencias de uplink y downlink junto con la polarización para la banda C.

Tabla 4.1 - Parámetros de la banda C

Banda C		
Parámetros	Banda C	
ATP(Atenuación)	5	dB
Back off In/Out 1 carrier at saturation	1/0.3	dB
Back off In/Out multicarrier	8/5	dB
C/I Intermodulation At saturation	Up=30 Dow=16 multicarrier	dB
C/I Cross Pol	Up=28 Dow=32	dB
C/X Ady Sat	Up=34 Dow=30	

Tabla 4.2 - Tabla de frecuencia y polarización para la banda C

C BAND

Tp	Uplink	Downlink	Band	Polarization Up/Down	Region
1N	5.945	3.720	C	H/V	C1
3N	5.985	3.760	C	H/V	C1
5N	6.025	3.800	C	H/V	C1
7N	6.065	3.840	C	H/V	C1
9N	6.105	3.880	C	H/V	C1
11N	6.145	3.920	C	H/V	C1
13N	6.185	3.960	C	H/V	C1
15N	6.225	4.000	C	H/V	C1
17N	6.265	4.040	C	H/V	C1
19N	6.305	4.080	C	H/V	C1
21N	6.345	4.120	C	H/V	C1
23N	6.385	4.160	C	H/V	C1
2N	5.965	3.740	C	V/H	C1
4N	6.005	3.780	C	V/H	C1
6N	6.045	3.820	C	V/H	C1
8N	6.085	3.860	C	V/H	C1
10N	6.125	3.900	C	V/H	C1
12N	6.165	3.940	C	V/H	C1
14N	6.205	3.980	C	V/H	C1
16N	6.245	4.020	C	V/H	C1
18N	6.285	4.060	C	V/H	C1
20N	6.325	4.100	C	V/H	C1
22N	6.365	4.140	C	V/H	C1
24N	6.405	4.180	C	V/H	C1

4.2 Cobertura de la Banda C

La cobertura que se toma en cuenta se muestra en la tabla 4.3. La decisión de trabajar con la banda C fue tomada debido a que esta cuenta con mejor densidad de PIRE y mejor cobertura en el estado de Guerrero.

Tabla 4.3 - Tabla de coberturas en México región norte

COBERTURA: C											
ATP= 0 Db						POLARIZACIÓN			POLARIZACIÓN		
						H/V			V/H		
						TRANSPONDEDOR:			TRANSPONDEDOR:		
						NONES			PARES		
PAÍS	LOCALIDAD:	LAT.	LONG.	PIRE	G/T	DFS	PIRE	G/T	DFS		
		(°)	(°W)	dBW	dB/K	dBW/m2	dBW	dB/K	dBW/m2		
335	MÉXICO	ACAPONETA, NAY	22.5	N	105.37	39.4	1.36	-101.55	41.58	-0.29	-99.82
336	MÉXICO	ACAPULCO, GRO	16.85	N	99.92	39.12	-0.09	-100.1	39.75	-0.63	-99.47
337	MÉXICO	ACATLAN, PUE	18.2	N	98.05	39.3	0.22	-100.41	40.17	-0.52	-99.59
338	MÉXICO	AGUA PRIETA, SON	31.3	N	109.57	40.53	1.27	-101.46	43.1	-0.09	-100.02
339	MÉXICO	AGUASCALIENTES, AGS	21.88	N	102.3	39.41	1.14	-101.33	41.32	-0.39	-99.72
340	MÉXICO	ALGODONES, BCN	32.69	N	114.76	40.52	1.1	-101.29	42.77	0.08	-100.19
341	MÉXICO	AMECA, JAL	20.55	N	104.03	39.17	1	-101.19	40.91	-0.32	-99.79
342	MÉXICO	ANTON LIZARDO, VER	19.05	N	95.97	39.47	0.13	-100.32	40.39	-0.61	-99.5
343	MÉXICO	APATZINGAN, MICH	19.08	N	102.35	39.11	0.65	-100.83	40.41	-0.39	-99.72

4.2.1 SFD (Densidad de flujo de saturación del satélite)

En la Figura 4.1 se muestra la cobertura de SFD (Densidad de flujo de saturación del satélite).

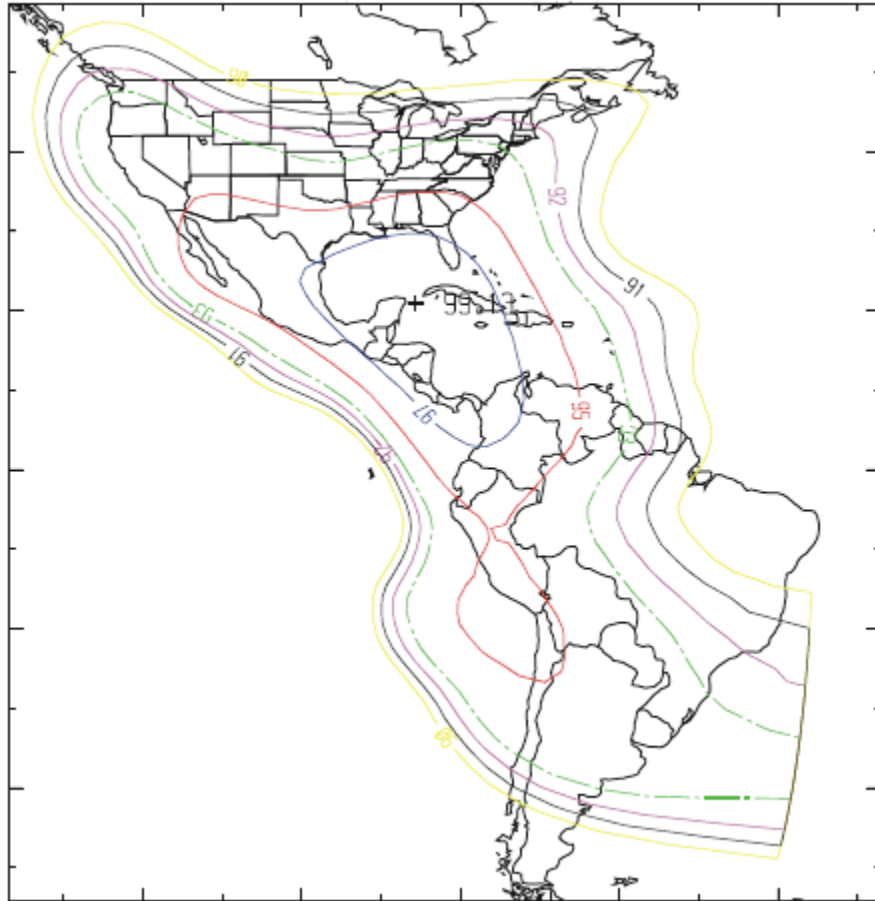


Figura 4.1 - Cobertura satelital SFD

4.2.2 Frecuencias de transpondedor

El transpondedor cuenta con dos diferentes polarizaciones de las cuales se decidió trabajar con una polarización horizontal, y con rango de frecuencias de 6,183 MHz – 6,147 MHz.

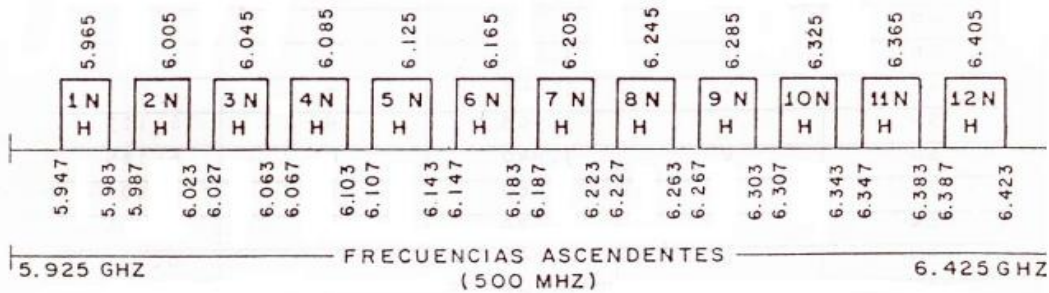


Figura 4.2 - Frecuencias de transpondedor horizontal

4.2.3 G/T (Razón de ganancia de antena receptora / Temperatura de ruido total)

La razón de ganancia de antena receptora sobre la temperatura de ruido se conoce popularmente como la razón G /T de una antena y es uno de los parámetros muy importantes para las antenas utilizadas en la comunicación satelital. En la figura 5.2 se muestra la cobertura de la razón G/T.

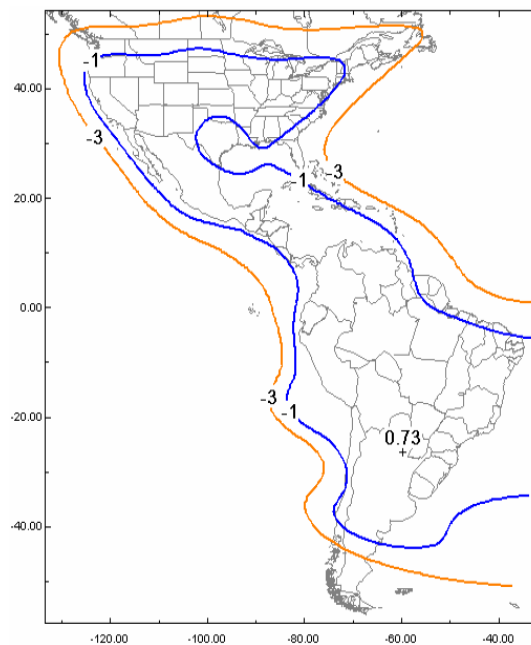


Figura 4.3 - Cobertura G/T de transpondedor impar

4.2.4 PIRE del satélite

En la figura 4.4 se muestra la cobertura y la PIRE de un transpondedor impar del satélite.

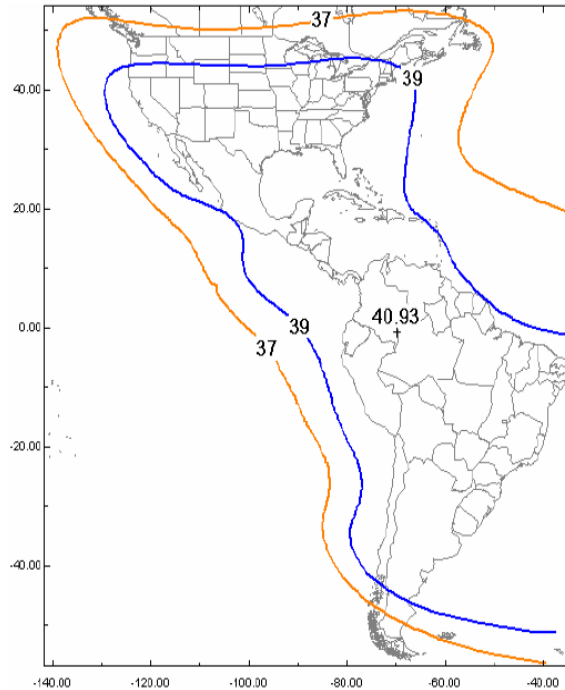


Figura 4.4 - Cobertura y la PIRE

4.3 Número de outroutes requeridos

Para el cálculo del número de outroutes se consideró lo siguiente:

- Banda C
- Modulación: 16-PSK
- Roll Off: 0.2
- FEC: $\frac{3}{4}$
- FEM: $\frac{1}{4}$

El porcentaje de la outroute correspondiente al enlace se asigna, dentro de los límites de la tasa de transmisión total sin contar el encabezado, en base a demanda.

El dimensionamiento del outroute es una tarea directa la cual puede aproximarse empleando el tráfico de outbound total y asumiendo una eficiencia conservadora, típicamente el 80% del outroute de 512 Kbps.

Es necesario en este punto recordar el formato de transmisión de la outroute en cuanto a tramas y paquetes de datos (Capítulo III).

Se considera 0.03 Erlangs por cada servicio (canal de voz), basándonos en un promedio de duración de 2 minutos de cada llamada por hora.

$$\left(\frac{2 \text{ min}}{60 \text{ min}}\right) = 0.03 \text{ Erlangs}$$

Se requieren de 1000 sitios para mejorar la cobertura en el Estado de Guerrero.

$$(0.03 \text{ Erlangs}) (1000 \text{ sitios}) = 30 \text{ Erlangs}$$

La red soportara un tráfico de 30 Erlangs.

De acuerdo con el anexo II se consideran que para el cálculo de Erlangs se requieren:

- **42 troncales**

Cada circuito de voz requiere capacidad en el outroute. Como cada paquete de voz requiere 8 bytes de encabezado y un paquete se transmite cada 45 ms (uno por frame), la capacidad requerida por cada circuito de voz es de **17,422 bps**, los cuales tomamos en cuenta para el cálculo del outroute.

Para el encabezado de canal de voz:

$$\frac{8 \text{ bits} \times 8 \text{ bytes}}{45 \text{ ms}} = 1422 \text{ bps}$$

Consideramos una compresión de 16 Kbps por cada canal de voz, ya que es el mínimo para poder obtener una voz clara entendible.

Al encabezado de canal de voz se le agrega el ancho de banda de la voz el cual es 16 Kbps.

$$1422 \text{ bps} + 16000 \text{ bps} = \mathbf{17422 \text{ bps}}$$

$$17422 \text{ bps} \times 42 \text{ troncales} = 731,724 \text{ bps}$$

Tomando en cuenta que disponemos de 512 Kbps de velocidad del outroute se tienen 12000 que son de tráfico de control, por lo cual se tomó en cuenta **500 Kbps**.

La siguiente formula nos permite calcular el número de outroutes requerido:

Tráfico de usuario del outbound total \div 500 Kbps = # de outroutes

$$\frac{731,724 \text{ bps}}{500000} = 1.46 \text{ Outroutes} \approx \mathbf{2 \text{ Outroutes}}$$

$$DR = 512 \text{ Kbps}$$

Ancho de banda por outroute:

$$BW = DR \times \frac{1}{FEC} \times FEM \times (1 + Roll\ Of)$$

$$BW = 512 \text{ Kbps} \times \frac{1}{3/4} \times \frac{1}{4} \times (1 + 0.2) = 204.8 \text{ KHz}$$

4.4 Número de inroutes requeridos

Para el cálculo del número de inroute se consideró lo siguiente:

- Tráfico para Voz: 90 bytes
- Over Head ODLC: 8 bytes
- Over Head de TDMA: 8 bytes
- Múltiplo superior de 8 = 14
- Tamaño de la troncal 112

Definir el número de inroutes necesarios para la red es la parte más compleja del dimensionamiento; esto se debe primeramente al medio de transmisión del inroute de acceso múltiple y a la variedad de formas en las cuales es accesado, todo con el fin de proporcionar la mejor eficiencia posible.

Dado que un inroute tiene un total de 720 bytes por trama (45 ms x 128 kbps), la capacidad total restante para ubicar el tamaño de aplicación del cliente es de **688 bytes**.

$$\#Inroutes \text{ requeridos} = \frac{\text{Tamaño de troncal} \times \# \text{Troncales}}{688 \text{ bytes}}$$

$$\frac{112 \text{ Tamaño de la troncal} \times 42 \text{ Troncales}}{688 \text{ bytes}} = 6.83 \text{ Inroutes} \approx 7 \text{ Inroutes}$$

$$BW = 128 \text{ kbps} \times \frac{1}{3/4} \times \frac{1}{4} \times (1 + 0.2) = 51.2 \text{ KHz}$$

4.5 Ancho de Banda de la Red

Para el cálculo del ancho de banda se considera un transpondedor con capacidad de 36 MHz con una frecuencia ascendente de 6,183 MHz y descendente de 6,147 MHz.

En la figura 4.5 se puede apreciar la distribución del ancho de banda de la red.

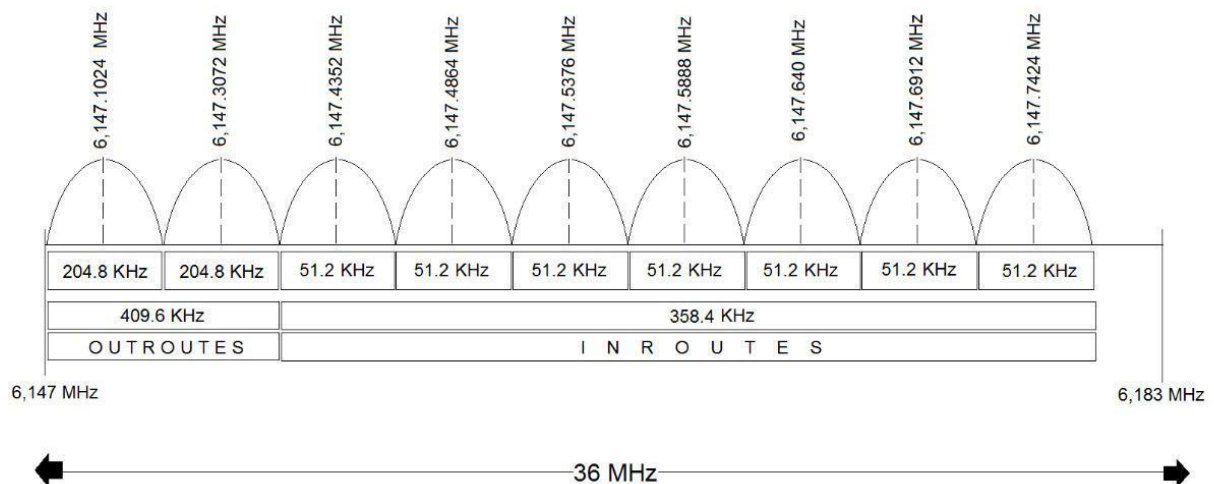


Figura 4.5 - Ancho de banda de la red

Solo se ocupan 768 KHz del total del transpondedor que representa 2.13 % del total.

4.6 Propuesta de localización de estaciones terrenas y central en el estado de Guerrero

Al observar el mapa de cobertura de los principales proveedores de servicio de telefonía móvil en el país, podemos determinar que la cobertura se centra en las zonas con mayor densidad de población; este también es el caso del estado de Guerrero. Al observar el mapa de cobertura en el estado que se muestra en la figura 4.6 y en el ANEXO III con más detalle, se pueden observar grandes extensiones territoriales sin ningún tipo de cobertura, lo cual dificulta la comunicación con esos puntos.

Se toma como referencia la cobertura de voz ya que es la más grande con la que cuentan los proveedores de telefonía móvil en todo el país a la cual es fácil acceder y casi cualquier persona puede utilizar. Según el INEGI, en conjunto con la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y el Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT) en su COMUNICADO DE PRENSA NÚM. 105/18 [15], el 72.2% de la población de seis años o más utiliza un teléfono celular y ocho de cada diez disponen de un celular inteligente.

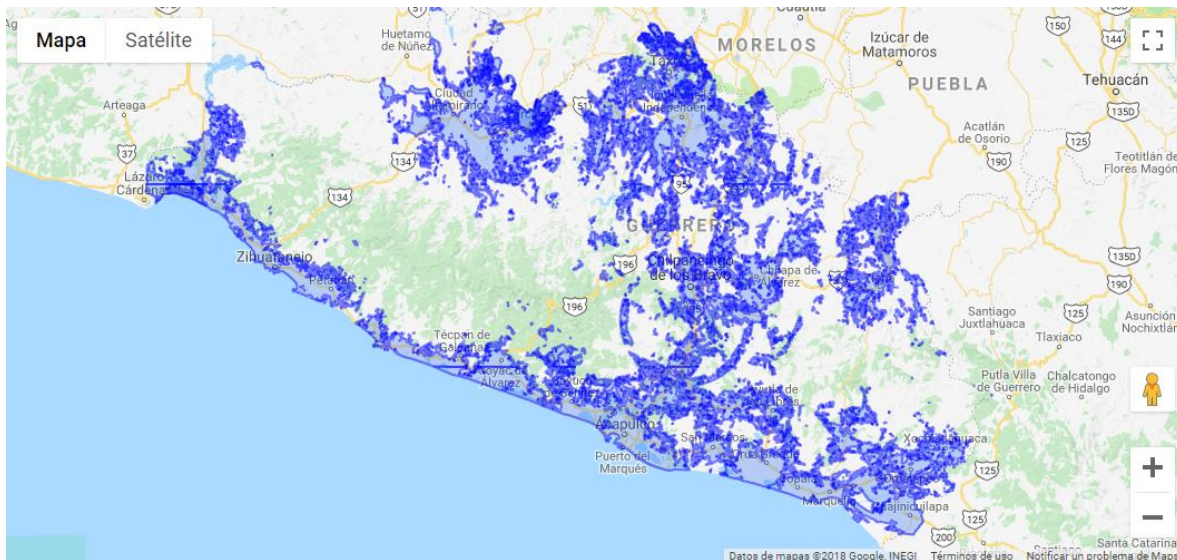


Figura 4.6 - Mapa de cobertura de voz en Guerrero

Para poder dimensionar la necesidad de la red de comunicaciones, se muestra un ejemplo.

Zihuatanejo de José Azueta es uno de los 81 municipios del estado de Guerrero (se enumeran en el ANEXO III); en él se encuentra una comunidad llamada Vallecitos de Zaragoza la cual cuenta con aproximadamente 2,000 habitantes y por la cual

pasan vías de transporte para la conexión terrestre de puntos estratégicos en el estado. Como se ve en la figura 4.7, en esta comunidad no se cuenta con cobertura de telefonía móvil.

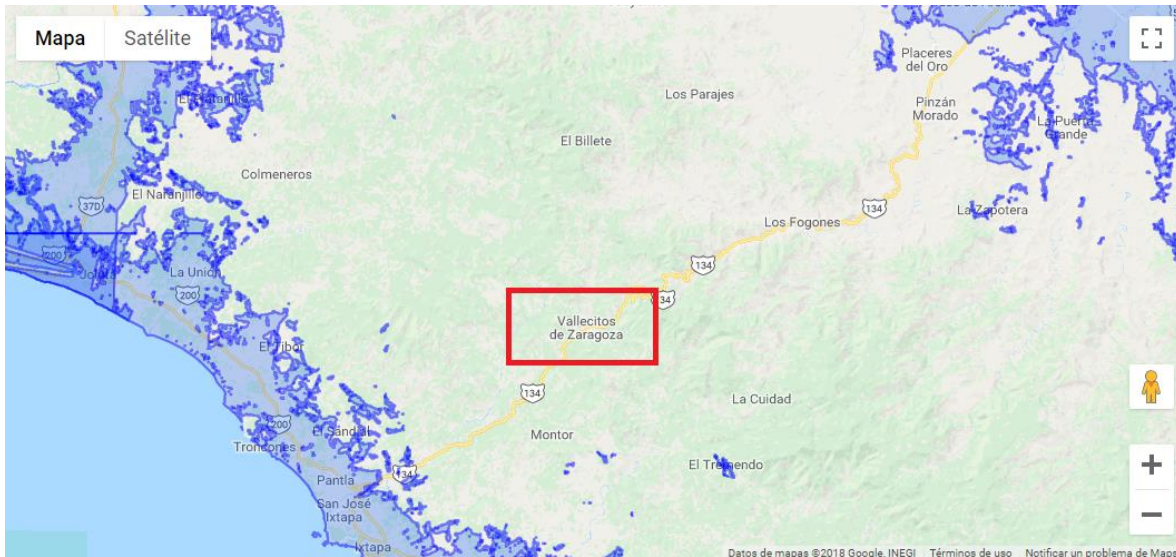


Figura 4.7 - Cobertura de voz en la comunidad Vallecitos de Zaragoza, Guerrero

En la figura 4.8 se puede observar la comunidad desde una perspectiva satelital destacando las vías terrestres que la comunican y el tamaño de esta.

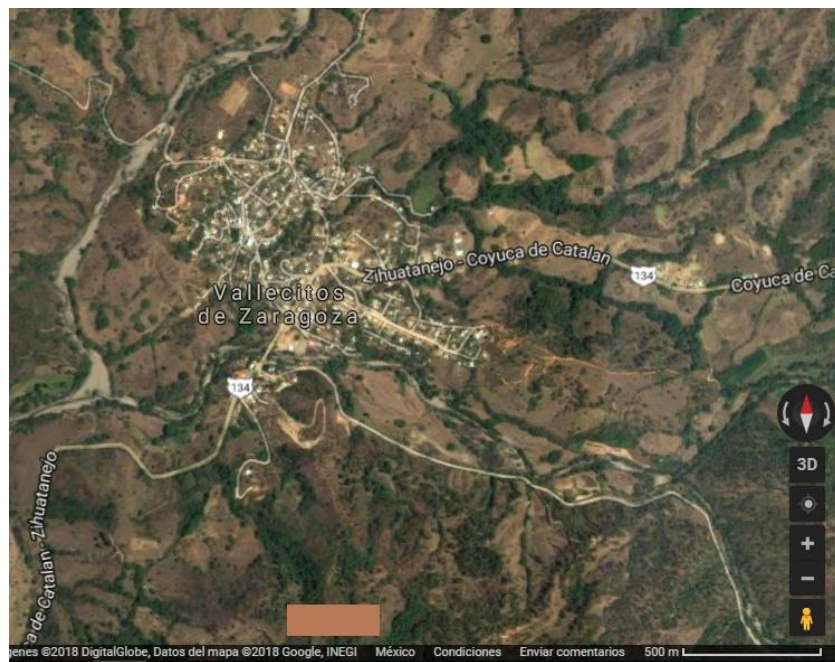


Figura 4.8 - Comunidad de Vallecitos de Zaragoza en Guerrero desde perspectiva satelital

Es necesario atender las diversas necesidades de comunicación de comunidades en el estado Guerrero como Vallecitos de Zaragoza, las cuales pueden ser de diversa índole como:

- Administración
- Economía
- Comercio
- Industria
- Educación
- Turismo
- Seguridad y prevención
- Desastres naturales
- Accidentes
- Emergencias

Se propone colocar la estación central de control (HUB) en el municipio de Chilpancingo de los Bravo, en la capital del estado (marcado como el número 29 en el ANEXO IV) e inicialmente asignar una estación terrena (VSAT) en los municipios restantes, esto en sus respectivas cabeceras municipales como se muestra en la figura 4.9.



Figura 4.9 - Ubicación de las estaciones terrenas y HUB de la red de comunicaciones en Guerrero

El diseño de la red se realizó para un total de 1000 estaciones terrenas de las cuales inicialmente se utilizan 80, dejando un total de 920 disponibles para ampliación a

puntos estratégicos de cada municipio como carreteras, puntos de vigilancia, negocios, comunidades más pequeñas, hospitales, centros de salud, escuelas, etcétera; esto se deja a consideración de cada municipio tratando de evitar el mal uso y desperdicio del recurso.

CONCLUSIONES

- Es posible otorgar servicio de voz mediante una red de comunicaciones satelital con los cálculos y análisis realizados.
- Para la optimización de recursos se dimensionó la red a 1000 estaciones remotas.
- La ubicación de la estación central será establecida en el Municipio de Chilpancingo de los Bravo, inicialmente, se asignará una estación remota por cada uno de los municipios del estado, dejando disponibles 920 estaciones para la distribución en puntos estratégicos de acuerdo con las necesidades de cada municipio ahorrando recursos, evitando el mal uso y desperdicio de este.
- Para el diseño de la red se obtuvieron 2 outroutes de 204.8 KHz cada uno y 7 inroutes de 51.2 KHz cada uno, sumando un ancho de banda total de red de 768 KHz.
- La red utiliza un ancho de banda pequeño (768 KHz) comparándolo con el tamaño del transpondedor (36 MHz) el cual representa un 2.13% del total de este, haciendo viable la implementación de la red.
- Se utiliza la corrección de errores “FEC” con el fin de asegurar la integridad de los bits y eficiencia en la potencia transmitida.
- El número de inroutes y outroutes aumentará conforme se añadan más estaciones remotas si es necesario.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **Acimut:** Se define como el ángulo horizontal de apuntamiento de una antena de estación terrestre.
- **Albedo:** El albedo es el porcentaje de radiación que cualquier superficie refleja respecto a la radiación que incide sobre la misma.
- **Antena:** Son dispositivos capaces de enviar o recibir energía tipo electromagnética, la cual surge de la transferencia de energía generada por un circuito eléctrico, en donde se transfieren en forma de ondas electromagnéticas a través del espacio.
- **Armónicos:** Un armónico de una onda es un componente sinusoidal de una señal. Su frecuencia es un múltiplo de la fundamental. La amplitud de los armónicos más altos es mucho menor que la amplitud de la onda fundamental y tiende a cero.
- **Atenuación:** Atenuación es la reducción de nivel de una señal, cuando pasa a través de un elemento de un circuito, o la reducción en nivel de la energía de vibración, cuando pasa a través de una estructura. La atenuación se mide en decibeles [dB] pero también se puede medir en porcentajes.
- **Duplexor:** Dispositivo electrónico que permite la comunicación bidireccional (duplex) sobre una misma línea de transmisión.
- **Eficiencia:** Relación entre la potencia radiada y la potencia entregada a la antena. También se puede definir como la relación entre ganancia y directividad
- **Ganancia:** La ganancia de una antena se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección y la densidad de potencia que radiaría una antena isotrópica, a igualdad de distancias y potencias entregadas a la antena.
- **Geosíncrono:** Dispositivo con una órbita que dura el mismo tiempo que el de la Tierra.
- **Kaptón:** Es un material que se mantiene estable en un amplio rango de temperaturas las cuales van de -269 a $+400$ ° C (-452 a 752 ° F; de 4 a 673 K). Kaptón se utiliza, entre otras cosas, en circuitos electrónicos impresos y mantas térmicas utilizadas en naves espaciales, satélites y diversos instrumentos espaciales.
- **Kevlar:** Es un material que soporta altas temperaturas con la que se puede construir equipos ligeros, resistentes, este material es 5 veces más fuerte que el acero y no le afecta la corrosión. Uno de sus usos es como revestimiento de satélites debido a su gran resistencia.
- **Multiplexor:** Circuito combinacional con varias entradas y una única salida de datos.
- **PIRE:** La Potencia Isotrópica Radiada Equivalente es la cantidad de potencia que emitiría una antena isotrópica teórica (es decir, aquella que distribuye la potencia exactamente igual en todas direcciones) para producir la densidad de potencia observada en la dirección de máxima ganancia de una antena.

- **Polarización:** La polarización electromagnética es una propiedad de las ondas que pueden oscilar con más de una orientación. Esto se refiere normalmente a las llamadas ondas transversales, en particular se suele hablar de las ondas electromagnéticas, aunque también se puede dar en ondas mecánicas transversales.
- **Radiobaliza:** Dispositivo radioeléctrico de señalización de ruta que consiste en una baliza dotada de un aparato emisor y que difunde señales, generalmente según un código preestablecido.
- **Radiofrecuencia:** Término que se aplica a la porción menos energética del espectro electromagnético entre los 3 Hz y 300 GHz.
- **Rango:** Es la distancia que hay entre una estación terrena y un satélite.
- **Satélite:** Complejos sistemas repetidores de la señal situados a gran distancia de la Tierra, desde los que se cubre una gran zona o incluso un continente.
- **Telemetría:** Sistema de medición de magnitudes físicas que permite transmitir los datos obtenidos a un observador lejano.
- **Trama:** Unidad de envío de datos. Serie sucesiva de bits organizados de una forma cíclica que almacenan información y la cual permite ser extraída.
- **Transpondedor:** Dispositivo que se ocupa de capturar la señal ascendente y retransmitirla de nuevo hacia la tierra en la frecuencia que le corresponde.

LISTA DE ABREVIATURAS

- **AM:** Amplitud Modulada, Amplitude Modulation.
- **ASK:** Modulación por Desplazamiento de Amplitud, Amplitude-Shift Keying.
- **BPSK:** Modulación por Desplazamiento de Fase Binario, Binary Phase Shift Keying.
- **CCIR:** Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones, International Radio Consultative Committee.
- **CDM:** Multiplexaje por División de Código, Code Division Multiplexing.
- **CDMA:** Acceso Múltiple por División de Código, Code Division Multiple Access.
- **DAMA:** Asignación Bajo Demanda, Demand Assigned Multiple Access.
- **dB:** Decibel.
- **DCU:** Delay Compensation Unit.
- **EHF:** Frecuencia Extremadamente Alta, Extremely High Frequency.
- **FDM:** Multiplexaje por División de Frecuencia, Frequency-Division Multiplexing.
- **FDMA:** Acceso Múltiple por División de Frecuencia, Frequency Division Multiple Access.
- **FEC:** Corrección de Errores Hacia Adelante, Forward Error Correction.
- **FM:** Frecuencia Modulada, Frequency Modulation.
- **GEO:** Órbita Terrestre Geosíncrona, Geosynchronous Earth Orbit.
- **HEO:** Órbita Elíptica Alta, High Elliptical Orbit.
- **HPBW:** Ancho de Haz de Media Potencia, Half Power Beam Width.
- **Hz:** Hertz
- **IDU:** Unidad Interna, Indoor Unit
- **IEEE:** Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Institute of Electrical and Electronics Engineers
- **LEO:** Órbita Terrestre Baja, Low Earth Orbit.
- **MEO:** Órbita Terrestre Intermedia, Medium Earth Orbit.
- **PCM:** Modulación por Impulsos Códificados, Pulse Code Modulation.
- **PIRE:** Potencia Isotrópica Radiada Efectiva, Effective Isotropic Radiated Power.
- **PSK:** Modulación por Desplazamiento de Fase, Phase Shift Keying.
- **QAM:** Modulación de Amplitud en Cuadratura, Quadrature Amplitude Modulation.
- **QPSK:** Modulación Por Desplazamiento De Fase En Cuadratura De Polarización Dual, Dual-Polarization Quadrature Phase Shift Keying.
- **RTT:** Tiempo de Ida y Vuelta, Round Trip Time.
- **SCPC:** Un Solo Canal por Operador, Single Channel Per Carrier.
- **SFD:** Densidad de Flujo de Saturación del Satélite, Saturated Flux Density.
- **SHF:** Super Alta Frecuencia, Super High Frequency.
- **TDM:** Multiplexaje por División de Tiempo, Time Division Multiplexing.
- **TDMA:** Acceso Múltiple por División de Tiempo, Time Division Multiple Access.
- **UHF:** Ultra Alta Frecuencia, Ultra High Frequency



-
- **UIT:** Unión Internacional de Telecomunicaciones, International Telecommunication Union.
 - **VHF:** Muy Alte Frecuencia, Very High Frequency.
 - **VSAT:** Terminal de Apertura Muy Pequeña, Very Small Aperture Terminals.

ANEXOS

ANEXO I: PARÁMETROS PARA BANDA TIPO C

COBERTURA: C

ATP= 0 dB					POLARIZACION			POLARIZACION			
					H/V			V/H			
COORDENADAS GEOGRÁFICAS					TRANSPONDEDOR:			TRANSPONDEDOR:			
					NONES			PARES			
PAÍS	LOCALIDAD:	LAT.		LONG.	PIRE	G/T	DFS	PIRE	G/T	DFS	
		(°)		(° W)	dBW	dB/K	dBW/m2	dBW	dB/K	dBW/m2	
335	MEXICO	ACAPONETA, NAY	22.50	N	105.37	39.40	1.36	-101.55	41.58	-0.29	-99.82
336	MEXICO	ACAPULCO, GRO	16.85	N	99.92	39.12	-0.09	-100.10	39.75	-0.63	-99.47
337	MEXICO	ACATLAN, PUE	18.20	N	98.05	39.30	0.22	-100.41	40.17	-0.52	-99.59
338	MEXICO	AGUA PRIETA, SON	31.30	N	109.57	40.53	1.27	-101.46	43.10	-0.09	-100.02
339	MEXICO	AGUASCALIENTES, AGS	21.88	N	102.30	39.41	1.14	-101.33	41.32	-0.39	-99.72
340	MEXICO	ALGODONES, BCN	32.69	N	114.76	40.52	1.10	-101.29	42.77	0.08	-100.19
341	MEXICO	AMECA, JAL	20.55	N	104.03	39.17	1.00	-101.19	40.91	-0.32	-99.79
342	MEXICO	ANTON LIZARDO, VER	19.05	N	95.97	39.47	0.13	-100.32	40.39	-0.61	-99.50
343	MEXICO	APATZINGAN, MICH	19.08	N	102.35	39.11	0.65	-100.83	40.41	-0.39	-99.72
344	MEXICO	ARANDAS, JAL.	20.73	N	102.33	39.28	1.01	-101.20	40.96	-0.35	-99.76
345	MEXICO	ATLACOMULCO, EDO.M.	19.80	N	99.88	39.31	0.64	-100.83	40.63	-0.43	-99.68
346	MEXICO	ATOTONILCO, DGO	24.65	N	103.70	39.75	1.42	-101.61	42.12	-0.49	-99.62
347	MEXICO	BOJORQUEZ, SIN	26.13	N	108.01	39.95	1.64	-101.83	42.56	-0.23	-99.88
348	MEXICO	BOLAÑOS, JAL	21.80	N	103.76	39.34	1.25	-101.43	41.33	-0.32	-99.79
349	MEXICO	CABO SAN LUCAS, BCS	22.83	N	109.92	39.30	0.58	-100.77	41.51	-0.55	-99.56
350	MEXICO	CABORCA, SON	30.62	N	112.10	40.47	1.33	-101.52	43.01	0.05	-100.16
351	MEXICO	CAMPECHE, CAMP	19.85	N	90.53	39.68	-0.07	-100.12	40.33	-0.71	-99.40
352	MEXICO	CANCUN, Q. ROO	21.08	N	86.77	39.73	-0.01	-100.17	40.23	-0.62	-99.49
353	MEXICO	CAYO ARCAS	20.20	N	91.97	39.68	-0.14	-100.05	40.50	-0.76	-99.34
354	MEXICO	CD. ACUÑA, COAH	29.30	N	100.92	40.36	0.10	-100.29	42.59	-1.12	-98.99



355	MEXICO	CD. ALTAMIRANO, GRO	18.33	N	100.67	39.15	0.42	-100.60	40.18	-0.45	-99.66
356	MEXICO	CD. CAMARGO, CHIH	27.67	N	105.17	40.16	1.38	-101.57	42.74	-0.53	-99.58
357	MEXICO	CD. CUAUHEMOC, CHIS	15.62	N	92.00	39.55	-0.44	-99.75	39.66	-0.75	-99.36
358	MEXICO	CD. DEL CARMEN, CAMP	18.63	N	91.83	39.62	-0.05	-100.14	40.17	-0.70	-99.41
359	MEXICO	CD. GUZMAN, JAL	19.68	N	103.48	39.10	0.79	-100.98	40.61	-0.36	-99.75
360	MEXICO	CD. JUAREZ, CHIH	31.73	N	106.48	40.54	0.80	-100.99	42.96	-0.46	-99.65
361	MEXICO	CD. MANTE, TAMS	22.73	N	98.95	39.65	0.54	-100.73	41.43	-0.69	-99.42
362	MEXICO	CD. OBREGON, SON	27.98	N	109.93	40.21	1.54	-101.72	42.86	-0.11	-100.00
363	MEXICO	CD. VALLES, SLP	21.98	N	99.02	39.56	0.58	-100.77	41.23	-0.62	-99.49
364	MEXICO	CD. VICTORIA, TAMS	23.73	N	99.13	39.76	0.52	-100.70	41.68	-0.77	-99.34
365	MEXICO	CELAYA, GTO	20.52	N	100.62	39.34	0.81	-101.00	40.86	-0.42	-99.69
366	MEXICO	CHAMPOTON, CAMP	19.35	N	90.72	39.66	-0.04	-100.15	40.25	-0.69	-99.41
367	MEXICO	CHARCAS, SLP	23.13	N	101.12	39.62	1.00	-101.19	41.62	-0.57	-99.54
368	MEXICO	CHETUMAL, Q.ROO	18.58	N	88.12	39.65	0.22	-100.41	39.92	-0.52	-99.59
369	MEXICO	CHIHUAHUA, CHIH	28.63	N	106.08	40.28	1.36	-101.55	42.89	-0.46	-99.65
370	MEXICO	CHILPANCINGO, GRO	17.55	N	99.50	39.18	0.15	-100.34	39.97	-0.53	-99.58
371	MEXICO	CHIQULLA, Q.ROO	21.40	N	87.30	39.77	-0.12	-100.07	40.34	-0.67	-99.44
372	MEXICO	COATZACOALCOS, VER	18.15	N	94.42	39.51	-0.04	-100.15	40.16	-0.66	-99.45
373	MEXICO	COLIMA, COL	19.23	N	103.72	39.04	0.63	-100.82	40.44	-0.40	-99.71
374	MEXICO	COMITAN, CHIS	16.25	N	92.13	39.56	-0.31	-99.88	39.76	-0.72	-99.39
375	MEXICO	CONCEPCION, ZAC	24.63	N	101.42	39.80	1.00	-101.19	42.00	-0.69	-99.42
376	MEXICO	CONITACA, SIN	24.20	N	106.73	39.64	1.55	-101.74	42.10	-0.27	-99.84
377	MEXICO	CORDOBA, VER	18.88	N	96.93	39.41	0.21	-100.40	40.36	-0.56	-99.55
378	MEXICO	COSAMALOAPAN, VER	18.37	N	95.80	39.45	0.06	-100.25	40.22	-0.61	-99.50
379	MEXICO	COZUMEL, Q.ROO	20.52	N	86.92	39.70	0.08	-100.27	40.15	-0.58	-99.53
380	MEXICO	CUERNAVACA, MOR	18.92	N	99.25	39.27	0.45	-100.64	40.37	-0.46	-99.65
381	MEXICO	CULIACAN, SIN	24.80	N	107.40	39.74	1.58	-101.77	42.26	-0.25	-99.86
382	MEXICO	DURANGO, DGO	24.03	N	104.67	39.65	1.52	-101.70	42.01	-0.37	-99.74
383	MEXICO	EL FUERTE, SIN	26.42	N	108.65	39.99	1.61	-101.80	42.61	-0.20	-99.91
384	MEXICO	ENSENADA, BCN	31.53	N	116.62	40.35	0.51	-100.70	42.49	-0.24	-99.87
385	MEXICO	ESMERALDA, COAH	27.28	N	103.70	40.12	1.18	-101.37	42.60	-0.69	-99.41
386	MEXICO	ESPITA, YUC	21.02	N	88.32	39.75	-0.12	-100.07	40.36	-0.69	-99.42
387	MEXICO	FRONTERA, TAB	18.53	N	92.63	39.59	-0.06	-100.13	40.19	-0.70	-99.41
388	MEXICO	GUACOCOCHIC, CHIH	26.84	N	107.08	40.06	1.64	-101.83	42.69	-0.30	-99.81
389	MEXICO	GUADALAJARA, JAL	20.67	N	103.33	39.22	1.03	-101.22	40.95	-0.32	-99.79
390	MEXICO	GUANACEVI, DGO	25.93	N	105.95	39.92	1.62	-101.81	42.50	-0.36	-99.74
391	MEXICO	GUANAJUATO, GTO	21.02	N	101.25	39.36	0.94	-101.13	41.03	-0.41	-99.70
392	MEXICO	GUAYMAS, SON	27.93	N	110.90	40.19	1.42	-101.61	42.81	-0.09	-100.02
393	MEXICO	HERMOSILLO, SON	29.07	N	110.97	40.33	1.44	-101.63	42.95	-0.03	-100.07
394	MEXICO	HIDALGO DEL PARRAL, CH	26.93	N	105.67	40.07	1.53	-101.72	42.66	-0.44	-99.67
395	MEXICO	HUAJUAPAN DE LEON, OAX	17.80	N	97.77	39.30	0.12	-100.31	40.07	-0.55	-99.56
396	MEXICO	I. MUJERES, Q.ROO	21.20	N	86.72	39.74	-0.04	-100.15	40.25	-0.63	-99.48
397	MEXICO	I. SOCORRO	18.75	N	110.97	38.29	-2.60	-97.59	39.44	-2.29	-97.82
398	MEXICO	IGUALA, GRO	18.35	N	99.53	39.22	0.36	-100.55	40.20	-0.47	-99.64
399	MEXICO	IRAPUATO, GTO	20.68	N	101.47	39.31	0.93	-101.12	40.93	-0.38	-99.73
400	MEXICO	IXMIQUILPAN, HGO	20.48	N	99.23	39.40	0.61	-100.80	40.83	-0.49	-99.62
401	MEXICO	IXTAPA, GRO	17.65	N	101.67	39.04	0.18	-100.37	39.93	-0.54	-99.57
402	MEXICO	IXTLAN, NAY	21.03	N	104.37	39.22	1.10	-101.29	41.08	-0.31	-99.80
403	MEXICO	IZAMAL, YUC	20.93	N	89.02	39.75	-0.15	-100.04	40.41	-0.72	-99.39
404	MEXICO	IZUCAR DE M., PUE	18.60	N	98.47	39.30	0.32	-100.51	40.28	-0.49	-99.62



405	MEXICO	JALAPA, VER	19.53	N	96.92	39.45	0.25	-100.44	40.53	-0.58	-99.53
406	MEXICO	JALOSTOTITLAN, JAL	21.20	N	102.47	39.32	1.09	-101.27	41.11	-0.35	-99.76
407	MEXICO	JALPAN, QRO	21.23	N	99.48	39.46	0.68	-100.87	41.04	-0.52	-99.58
408	MEXICO	JESUS CARRANZA, VER	17.43	N	95.03	39.46	-0.11	-100.08	40.00	-0.65	-99.45
409	MEXICO	LA ASCENCION, N.L.	24.25	N	99.93	39.80	0.67	-100.86	41.83	-0.76	-99.35
410	MEXICO	LA PAZ, BCS	24.17	N	110.30	39.56	0.92	-101.11	41.94	-0.40	-99.71
411	MEXICO	LA PESCA, TAMS	23.78	N	97.78	39.81	0.17	-100.36	41.62	-0.85	-99.26
412	MEXICO	LA PIEDAD, MICH	20.35	N	102.00	39.25	0.92	-101.11	40.83	-0.35	-99.76
413	MEXICO	LAZARO CARD., MICH	17.98	N	102.18	39.03	0.29	-100.47	40.03	-0.50	-99.61
414	MEXICO	LEON, GTO	21.17	N	101.70	39.35	1.01	-101.19	41.08	-0.39	-99.72
415	MEXICO	LERDO, VER	18.60	N	95.50	39.48	0.06	-100.25	40.28	-0.62	-99.49
416	MEXICO	LERMA, CAMP	19.83	N	90.53	39.68	-0.07	-100.12	40.33	-0.71	-99.40
417	MEXICO	LINARES, N.L.	24.87	N	99.57	39.89	0.52	-100.71	41.94	-0.85	-99.26
418	MEXICO	LOMA BONITA, VER	18.12	N	95.88	39.43	0.04	-100.23	40.16	-0.61	-99.50
419	MEXICO	LORETO, BCS	26.02	N	111.35	39.88	1.07	-101.26	42.37	-0.28	-99.83
420	MEXICO	LOS MOCHIS, SIN	25.75	N	108.88	39.88	1.54	-101.73	42.46	-0.21	-99.90
421	MEXICO	MADERA, CHIH	29.20	N	108.12	40.35	1.47	-101.66	43.01	-0.24	-99.87
422	MEXICO	MANZANILLO, COL	19.05	N	104.33	38.98	0.50	-100.68	40.36	-0.46	-99.65
423	MEXICO	MATAMOROS, TAMS	25.88	N	97.50	40.07	-0.19	-100.00	42.01	-1.04	-99.07
424	MEXICO	MATEHUALA, SLP	23.65	N	100.65	39.70	0.88	-101.07	41.73	-0.65	-99.46
425	MEXICO	MATIAS ROMERO, OAX	16.88	N	95.03	39.44	-0.22	-99.97	39.89	-0.68	-99.43
426	MEXICO	MAZATLAN, SIN	23.22	N	106.42	39.48	1.42	-101.61	41.81	-0.28	-99.83
427	MEXICO	MERIDA, YUC	20.97	N	89.62	39.75	-0.19	-100.00	40.47	-0.75	-99.36
428	MEXICO	MEXICALI, BCN	32.67	N	115.48	40.49	0.99	-101.18	42.69	0.03	-100.14
429	MEXICO	MEXICO, D.F.	19.40	N	99.15	39.31	0.51	-100.70	40.51	-0.46	-99.65
430	MEXICO	MIHUATLAN, OAX	16.33	N	96.60	39.33	-0.33	-99.86	39.74	-0.71	-99.40
431	MEXICO	MONCLOVA, COAH	26.90	N	101.42	40.10	0.73	-100.91	42.41	-0.91	-99.20
432	MEXICO	MONTERREY, N.L.	25.67	N	100.32	39.97	0.62	-100.81	42.14	-0.88	-99.23
433	MEXICO	MORELIA, MICH	19.70	N	101.12	39.23	0.75	-100.94	40.61	-0.38	-99.73
434	MEXICO	NACUZARI, SON	30.40	N	109.65	40.47	1.39	-101.58	43.09	-0.08	-100.03
435	MEXICO	NARANJOS, VER	21.35	N	97.68	39.56	0.34	-100.53	41.02	-0.65	-99.46
436	MEXICO	NOGALES, SON	31.33	N	110.93	40.53	1.33	-101.52	43.08	0.03	-100.13
437	MEXICO	NVO. CASAS G., CHIH	30.42	N	107.92	40.47	1.27	-101.45	43.07	-0.27	-99.84
438	MEXICO	NVO. LAREDO, TAMS	27.50	N	99.52	40.21	0.10	-100.29	42.35	-1.10	-99.01
439	MEXICO	OAXACA, OAX	17.05	N	96.72	39.34	-0.12	-100.07	39.90	-0.63	-99.48
440	MEXICO	OCOTLAN, JAL	20.35	N	102.77	39.21	0.96	-101.15	40.84	-0.33	-99.78



441	MEXICO	OJINAGA, CHIH	29.57	N	104.42	40.37	0.89	-101.08	42.85	-0.71	-99.40
442	MEXICO	ORIENTAL, PUE	19.37	N	97.62	39.40	0.32	-100.51	40.49	-0.53	-99.57
443	MEXICO	ORIZABA, VER	18.85	N	97.10	39.40	0.22	-100.41	40.35	-0.55	-99.56
444	MEXICO	PACHUCA, HGO	20.12	N	98.73	39.39	0.52	-100.71	40.71	-0.50	-99.61
445	MEXICO	PIEDRAS NEGRAS, COAH	28.70	N	100.52	40.31	0.13	-100.32	42.53	-1.12	-98.99
446	MEXICO	PIJIJAPAN, CHIS	15.70	N	93.23	39.51	-0.51	-99.68	39.68	-0.77	-99.33
447	MEXICO	PINOTEPA NAL., OAX	16.32	N	98.02	39.23	-0.31	-99.88	39.69	-0.71	-99.40
448	MEXICO	POZA RICA, VER	20.55	N	97.45	39.50	0.33	-100.52	40.81	-0.60	-99.51
449	MEXICO	PTO. ANGEL, OAX	15.67	N	96.48	39.33	-0.58	-99.61	39.61	-0.80	-99.31
450	MEXICO	PTO. CORTES, BCS	24.78	N	111.91	39.62	0.53	-100.71	41.94	-0.55	-99.56
451	MEXICO	PTO. ESCONDIDO, OAX	15.80	N	96.95	39.30	-0.52	-99.67	39.61	-0.78	-99.33
452	MEXICO	PTO. MADERO, CHIS	14.73	N	92.42	39.53	-0.76	-99.43	39.55	-0.85	-99.26
453	MEXICO	PTO. PEÑASCO, SON	31.33	N	113.55	40.49	1.19	-101.38	42.91	0.06	-100.17
454	MEXICO	PTO. PROGRESO, YUC.	21.20	N	89.60	39.77	-0.23	-99.96	40.52	-0.76	-99.35
455	MEXICO	PTO. VALLARTA, JAL	20.62	N	105.25	39.12	0.92	-101.10	40.93	-0.34	-99.77
456	MEXICO	PUEBLA, PUE	19.05	N	98.20	39.34	0.36	-100.55	40.41	-0.50	-99.61
457	MEXICO	QUERETARO, QRO	20.60	N	100.38	39.36	0.79	-100.98	40.88	-0.43	-99.68
458	MEXICO	REYNOSA, TAMS	26.12	N	98.30	40.08	0.00	-100.19	42.09	-1.03	-99.08
459	MEXICO	RIO GRANDE, ZAC	23.83	N	103.03	39.65	1.33	-101.52	41.89	-0.48	-99.63
460	MEXICO	RODEO, DGO	25.18	N	104.57	39.82	1.52	-101.71	42.29	-0.45	-99.66
461	MEXICO	ROSARITO, BCN	28.63	N	114.07	40.20	0.74	-100.93	42.58	-0.25	-99.85
462	MEXICO	SABINAS HIDALGO, N.L.	26.50	N	100.17	40.08	0.46	-100.65	42.27	-0.97	-99.14
463	MEXICO	SALINA CRUZ, OAX	16.17	N	95.20	39.42	-0.41	-99.78	39.74	-0.73	-99.37
464	MEXICO	SALTILLO, COAH	25.42	N	101.02	39.92	0.83	-101.02	42.14	-0.80	-99.31
465	MEXICO	SAN ANDRES T., VER	18.45	N	95.22	39.48	0.03	-100.22	40.24	-0.63	-99.47
466	MEXICO	SAN BARTOLO Y., OAX	16.46	N	95.97	39.38	-0.31	-99.88	39.79	-0.70	-99.41
467	MEXICO	SAN BLAS, NAY	21.52	N	105.27	39.25	1.16	-101.35	41.26	-0.30	-99.81
468	MEXICO	SAN FELIPE, BCN	31.00	N	114.87	40.42	0.92	-101.11	42.74	-0.06	-100.04
469	MEXICO	SAN FERNANDO, TAMS	24.85	N	98.17	39.93	0.14	-100.33	41.86	-0.93	-99.18
470	MEXICO	SAN JOSE, BCS	27.54	N	114.48	40.01	0.29	-100.48	42.29	-0.53	-99.58
471	MEXICO	SAN JUAN D.S., SLP	23.35	N	102.03	39.61	1.17	-101.36	41.72	-0.52	-99.59
472	MEXICO	SAN JUAN DE LOS LAGOS	21.25	N	102.23	39.34	1.07	-101.26	41.12	-0.36	-99.75
473	MEXICO	SAN JUAN DEL RIO, QRO	20.48	N	100.00	39.36	0.73	-100.92	40.84	-0.45	-99.66
474	MEXICO	SAN LUIS DE LA PAZ, GTO	21.30	N	100.52	39.42	0.85	-101.04	41.09	-0.46	-99.65
475	MEXICO	SAN LUIS POTOSI, SLP	22.15	N	100.98	39.50	0.97	-101.16	41.35	-0.49	-99.62
476	MEXICO	SAN QUINTIN, BCN	30.48	N	115.95	40.31	0.50	-100.69	42.52	-0.28	-99.83
477	MEXICO	SANTIAGO P., DGO	25.05	N	105.42	39.79	1.60	-101.78	42.29	-0.37	-99.74
478	MEXICO	STA. ELENA, COAH	27.87	N	102.99	40.19	0.93	-101.12	42.63	-0.82	-99.29
479	MEXICO	STA. ROSALIA, BCS	27.32	N	112.28	40.07	1.05	-101.24	42.57	-0.21	-99.90
480	MEXICO	TAMPICO, TAMS	22.22	N	97.85	39.64	0.33	-100.51	41.25	-0.71	-99.40
481	MEXICO	TAPACHULA, CHIS	14.90	N	92.28	39.54	-0.69	-99.50	39.57	-0.82	-99.28
482	MEXICO	TECATE, BCN	32.57	N	116.63	40.42	0.71	-100.90	42.52	-0.10	-100.01
483	MEXICO	TECOLOTLAN, JAL	20.18	N	104.07	39.12	0.90	-101.09	40.78	-0.34	-99.77
484	MEXICO	TEHUACAN, PUE	18.45	N	97.38	39.36	0.20	-100.39	40.25	-0.54	-99.57
485	MEXICO	TEMPOAL, VER	21.78	N	98.45	39.57	0.47	-100.66	41.16	-0.64	-99.47
486	MEXICO	TENOSIQUE, TAB	17.48	N	91.43	39.59	-0.08	-100.11	39.94	-0.67	-99.44
487	MEXICO	TEPIC, NAY	21.50	N	104.90	39.26	1.18	-101.37	41.25	-0.30	-99.81
488	MEXICO	TIJUANA, BCN	32.37	N	117.02	40.38	0.56	-100.75	42.45	-0.18	-99.93
489	MEXICO	TIZIMIN, YUC	21.15	N	88.15	39.76	-0.13	-100.06	40.37	-0.69	-99.42
490	MEXICO	TLAPA, GRO	17.55	N	98.55	39.24	0.11	-100.30	39.99	-0.55	-99.56



491	MEXICO	TLAXCALA, TLAX	19.32	N	98.23	39.36	0.39	-100.58	40.48	-0.50	-99.61
492	MEXICO	TLAXIACO, OAX	17.27	N	97.68	39.29	-0.01	-100.18	39.93	-0.59	-99.52
493	MEXICO	TOLIMAN, QRO	20.90	N	99.93	39.41	0.74	-100.93	40.96	-0.47	-99.64
494	MEXICO	TOLUCA, EDO.M.	19.28	N	99.67	39.28	0.55	-100.74	40.48	-0.44	-99.67
495	MEXICO	TONALA, CHIS	16.07	N	93.75	39.49	-0.43	-99.76	39.74	-0.75	-99.36
496	MEXICO	TORREON, COAH	25.55	N	103.43	39.89	1.34	-101.53	42.30	-0.59	-99.52
497	MEXICO	TULA, HGO	20.10	N	99.32	39.36	0.60	-100.79	40.72	-0.47	-99.64
498	MEXICO	TULA, TAMS	23.00	N	99.72	39.65	0.70	-100.89	41.53	-0.66	-99.45
499	MEXICO	TUXPAN, VER	20.95	N	97.40	39.53	0.31	-100.50	40.91	-0.63	-99.48
500	MEXICO	TUXTEPEC, OAX	18.10	N	96.12	39.42	0.05	-100.24	40.16	-0.60	-99.51
501	MEXICO	TUXTLA GTZ., CHIS	16.75	N	93.12	39.53	-0.26	-99.93	39.86	-0.71	-99.40
502	MEXICO	URUAPAN, MICH	19.42	N	101.97	39.16	0.73	-100.92	40.52	-0.37	-99.74
503	MEXICO	VALLADOLID, YUC	20.68	N	88.20	39.73	-0.05	-100.14	40.29	-0.66	-99.45
504	MEXICO	VALPARAISO, ZAC	22.77	N	103.57	39.49	1.35	-101.54	41.62	-0.37	-99.74
505	MEXICO	VERACRUZ, VER	19.20	N	96.13	39.47	0.15	-100.34	40.43	-0.61	-99.50
506	MEXICO	VILLAHERMOSA, TAB	17.98	N	92.92	39.56	-0.09	-100.10	40.09	-0.69	-99.42
507	MEXICO	YUCALTEPEN, YUC	21.28	N	89.67	39.77	-0.25	-99.94	40.54	-0.77	-99.34
508	MEXICO	ZACATECAS, ZAC	22.78	N	102.58	39.52	1.24	-101.43	41.59	-0.43	-99.68
509	MEXICO	ZACATEPEC, OAX	17.22	N	95.85	39.40	-0.12	-100.07	39.95	-0.64	-99.47
510	MEXICO	ZACATLAN, PUE	19.93	N	97.97	39.42	0.40	-100.59	40.65	-0.54	-99.57
511	MEXICO	ZACUALTIPAN, HGO	20.65	N	98.60	39.45	0.52	-100.70	40.86	-0.54	-99.57
512	MEXICO	ZAMORA, MICH	19.98	N	102.27	39.20	0.87	-101.06	40.71	-0.35	-99.76
513	MEXICO	ZIHUATANEJO, GRO	17.63	N	101.55	39.04	0.18	-100.37	39.93	-0.54	-99.57

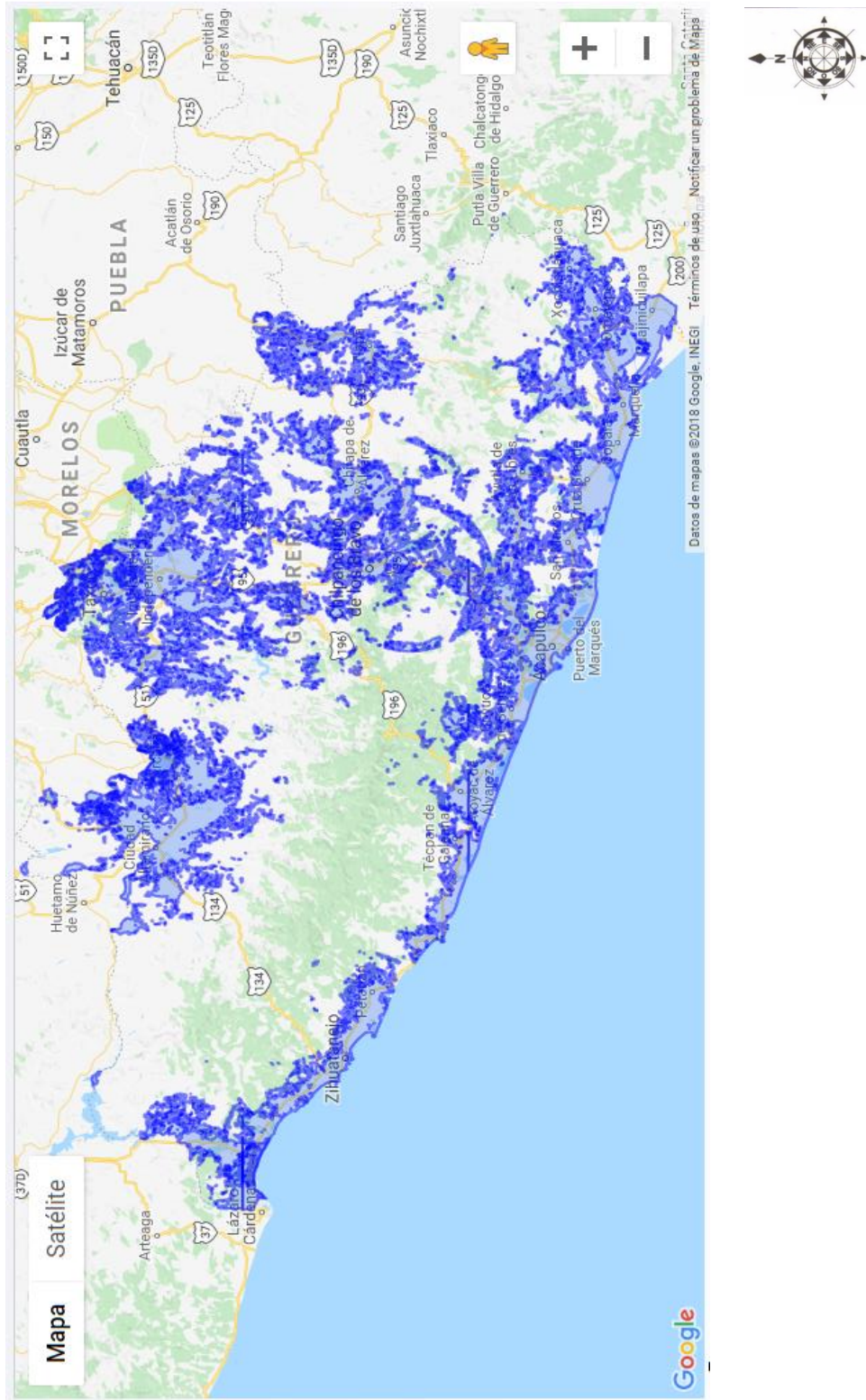


ANEXO II: TABLA DE ERLANG

Offered traffic flow A in erlang

n	Probabilidad de pérdida (E)										n
	0.007	0.008	0.009	0.01	0.02	0.03	0.05	0.1	0.2	0.4	
1	.00705	.00806	.00908	.01010	.02041	.03093	.05263	.11111	.25000	.66667	1
2	.12600	.13532	.14416	.15259	.22347	.28155	.38132	.59543	1.0000	2.0000	2
3	.39664	.41757	.43711	.45549	.60221	.71513	.89940	1.2708	1.9299	3.4798	3
4	.77729	.81029	.84085	.86942	1.0923	1.2589	1.5246	2.0454	2.9452	5.0210	4
5	1.2362	1.2810	1.3223	1.3608	1.6571	1.8752	2.2185	2.8811	4.0104	6.5955	5
6	1.7531	1.8093	1.8610	1.9090	2.2759	2.5431	2.9603	3.7584	5.1086	8.1907	6
7	2.3149	2.3820	2.4437	2.5009	2.9354	3.2497	3.7378	4.6662	6.2302	9.7998	7
8	2.9125	2.9902	3.0615	3.1276	3.6271	3.9865	4.5430	5.5971	7.3692	11.419	8
9	3.5395	3.6274	3.7080	3.7825	4.3447	4.7479	5.3702	6.5464	8.5217	13.045	9
10	4.1911	4.2889	4.3784	4.4612	5.0840	5.5294	6.2157	7.5106	9.6850	14.677	10
11	4.8637	4.9709	5.0691	5.1599	5.8415	6.3280	7.0764	8.4871	10.857	16.314	11
12	5.5543	5.6708	5.7774	5.8760	6.6147	7.1410	7.9501	9.4740	12.036	17.954	12
13	6.2607	6.3863	6.5011	6.6072	7.4015	7.9667	8.8349	10.470	13.222	19.598	13
14	6.9811	7.1155	7.2382	7.3517	8.2003	8.8035	9.7295	11.473	14.413	21.243	14
15	7.7139	7.8568	7.9874	8.1080	9.0096	9.6500	10.633	12.484	15.608	22.891	15
16	8.4579	8.6092	8.7474	8.8750	9.8284	10.505	11.544	13.500	16.807	24.541	16
17	9.2119	9.3714	9.5171	9.6516	10.656	11.368	12.461	14.522	18.010	26.192	17
18	9.9751	10.143	10.296	10.437	11.491	12.238	13.385	15.548	19.216	27.844	18
19	10.747	10.922	11.082	11.230	12.333	13.115	14.315	16.579	20.424	29.498	19
20	11.526	11.709	11.876	12.031	13.182	13.997	15.249	17.613	21.635	31.152	20
21	12.312	12.503	12.677	12.838	14.036	14.885	16.189	18.651	22.848	32.808	21
22	13.105	13.303	13.484	13.651	14.896	15.778	17.132	19.692	24.064	34.464	22
23	13.904	14.110	14.297	14.470	15.761	16.675	18.080	20.737	25.281	36.121	23
24	14.709	14.922	15.116	15.295	16.631	17.577	19.031	21.784	26.499	37.779	24
25	15.519	15.739	15.939	16.125	17.505	18.483	19.985	22.833	27.720	39.437	25
26	16.334	16.561	16.768	16.959	18.383	19.392	20.943	23.885	28.941	41.096	26
27	17.153	17.387	17.601	17.797	19.265	20.305	21.904	24.939	30.164	42.755	27
28	17.977	18.218	18.438	18.640	20.150	21.221	22.867	25.995	31.388	44.414	28
29	18.805	19.053	19.279	19.487	21.039	22.140	23.833	27.053	32.614	46.074	29
30	19.637	19.891	20.123	20.337	21.932	23.062	24.802	28.113	33.840	47.735	30
31	20.473	20.734	20.972	21.191	22.827	23.987	25.773	29.174	35.067	49.395	31
32	21.312	21.580	21.823	22.048	23.725	24.914	26.746	30.237	36.295	51.056	32
33	22.155	22.429	22.678	22.909	24.626	25.844	27.721	31.301	37.524	52.718	33
34	23.001	23.281	23.536	23.772	25.529	26.776	28.698	32.367	38.754	54.379	34
35	23.849	24.136	24.397	24.638	26.435	27.711	29.677	33.434	39.985	56.041	35
36	24.701	24.994	25.261	25.507	27.343	28.647	30.657	34.503	41.216	57.703	36
37	25.556	25.854	26.127	26.378	28.254	29.585	31.640	35.572	42.448	59.365	37
38	26.413	26.718	26.996	27.252	29.166	30.526	32.624	36.643	43.680	61.028	38
39	27.272	27.583	27.867	28.129	30.081	31.468	33.609	37.715	44.913	62.690	39
40	28.134	28.451	28.741	29.007	30.997	32.412	34.596	38.787	46.147	64.353	40
41	28.999	29.322	29.616	29.888	31.916	33.357	35.584	39.861	47.381	66.016	41
42	29.866	30.194	30.494	30.771	32.836	34.305	36.574	40.936	48.616	67.679	42
43	30.734	31.069	31.374	31.656	33.758	35.253	37.565	42.011	49.851	69.342	43
44	31.605	31.946	32.256	32.543	34.682	36.203	38.557	43.088	51.086	71.006	44
45	32.478	32.824	33.140	33.432	35.607	37.155	39.550	44.165	52.322	72.669	45
46	33.353	33.705	34.026	34.322	36.534	38.108	40.545	45.243	53.559	74.333	46
47	34.230	34.587	34.913	35.215	37.462	39.062	41.540	46.322	54.796	75.997	47
48	35.108	35.471	35.803	36.109	38.392	40.018	42.537	47.401	56.033	77.660	48
49	35.988	36.357	36.694	37.004	39.323	40.975	43.534	48.481	57.270	79.324	49
50	36.870	37.245	37.586	37.901	40.255	41.933	44.533	49.562	58.508	80.988	50
51	37.754	38.134	38.480	38.800	41.189	42.892	45.533	50.644	59.746	82.652	51
n	0.007	0.008	0.009	0.01	0.02	0.03	0.05	0.1	0.2	0.4	n
Probabilidad de pérdida (E)											

ANEXO III: MAPA DE COBERTURA PARA TRANSMISIÓN DE VOZ EN EL ESTADO DE GUERRERO



ANEXO IV: ESTADO DE GUERRERO Y SUS MUNICIPIOS





1. ACAPULCO DE JUAREZ
2. AHUACUOTZINGO
3. AJUCHITLÁN DEL PROGRESO
4. ALCOZAUCA DE GUERRERO
5. ALPOYECA
6. APAXTLA
7. ARCELIA
8. ATENANGO DEL RÍO
9. ATLAMAJALCINGO DEL MONTE
10. ATLIXTAC
11. ATOYAC DE ÁLVAREZ
12. AYUTLADE LOS LIBRES
13. AZOYÚ
14. BENITO JUÁREZ
15. BUENAVISTA DE CUÉLLAR
16. COAHUAYUTLA DE JOSÉ MA. IZAZAGA
17. COCULA
18. COPALA
19. COPALILLO
20. COPANAToyAC
21. COYUCA DE BENÍTEZ
22. COYUCA DE CATALAN
23. CUAJINICUILAPA
24. CUALÁC
25. CUAUTEPEC
26. CUETZALA DEL PROGRESO
27. CUTZAMALA DE PINZÓN
28. CHILAPA DE ÁLVAREZ
29. CHILPANCINGO DE LOS BRAVO
30. FLORENCIO VILLARREAL
31. GRAL. CANUTO A. NERI
32. GRAL. HELIODORO CASTILLO
33. HUAMUXTITLÁN
34. HUITZUCO DE LOS FIGUEROA
35. IGUALA DE LA INDEPENDENCIA
36. IGUALAPA
37. IXCATEOPAN DE CUAHUTÉMOC
38. ZIHUATANEJO DE AZUETA
39. JUAN R. ESCUDERO
40. LEONARDO BRAVO
41. MALINALTEPEC
42. MÁRTIR DE CUILAPAN
43. METLATÓNOC
44. MOCHITLÁN
45. OLINALÁ
46. OMETEPEC
47. PEDRO ASCENCIO ALQUISIRAS
48. PETATLÁN
49. PILCAYA
50. PUNGARABATO
51. QUECHULTENANGO
52. SAN LUIS ACATLÁN
53. SAN MARCOS
54. SAN MIGUEL TOTOLAPAN
55. TAXCO DE ALARCÓN
56. TECOANAPA
57. TÉCPAN DE GALEANA
58. TELOLOAPAN
59. TEPECOACUILCO DE TRUJANO
60. TETIPAC
61. TIXTLA DE GUERRERO
62. TLACOACHISTLAHUACA
63. TLACOAPA
64. TLALCHAPA
65. TLALIXTAQUILLA DE MALDONADO
66. TLAPA DE COMONFORT
67. TLAPEHUALA
68. UNIÓN DE ISIDORO MONTES DE OCA, LA
69. XALPATLÁHUAC
70. XOCHIHUHUETLÁN
71. XOCHISTLAHUACA
72. ZAPOTITLÁN TABLAS
73. ZIRÁNDARO
74. ZITLALA
75. EDUARDO NERI
76. ACATEPEC
77. MARQUELIA
78. COCHOAPA EL GRANDE
79. JOSÉ JOAQUÍN DE HERRERA
80. JUCHITÁN
81. ILIATENCO

REFERENCIAS

- [1] José Manuel Huidobro (2014). Telecomunicaciones. Tecnologías, Redes y Servicios. RA-MA Editorial.
- [2] José Manuel Huidobro, Javier Duque Ordoñez (2013). Comunicaciones por radio. Tecnologías, redes y servicios de radiocomunicaciones. El espectro electromagnético. Alfaomega RA-MA Editorial.
- [3] Rodolfo Neri Vela (2003). Comunicaciones por satélite. THOMSON.
- [4] Wayne Tomasi (2003). Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. PEARSON EDUCATION.
- [5] Carlos Rosado (1998). Comunicación por satélite. Principios, tecnologías y sistemas. AHCJET.
- [6] IEEE. (2014). IEEE Standard for Definitions of Terms for Antennas. Junio 15, 2018, de IEEE Sitio web: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6758443/>.
- [7] A.Cardama, L.Jofre, J.M.Rius, J.Romeu, S.Blanch (1993). Antenas. Editions UPC.
- [8] Ángel Cardama Aznar (2006). Antenas. Ediciones de la Universidad Politécnica de Catalunya.
- [9] José Manuel Huidobro (2003). Manual de Telecomunicaciones. RA-MA Editorial.
- [10] Enrique Herrera Pérez (2005). Comunicaciones II - Comunicación Digital y Ruido. LIMUSA.
- [11] Juan D. Batipalla. (2018). Potencia Isotrópica Equivalente Radiada. Junio 17, 2018, de Sistecom Sitio web: <https://sistecom.webcindario.com/pire.pdf>
- [12] Raúl Sánchez García. (2012). Multiplexación FDM, TDM y CDM. Junio 17, 2018, de Tecnológico M2 Sitio web: <https://sites.google.com/site/carlosraulsan2987/home/tecnologias-inalambricas/unidad-1/multiplexacion-fdm-tdm-y-cdm>
- [13] Rangel, Francisco. “Notas de clase: Capítulo V – Acceso Múltiple por Asignación de Tiempo”. Instituto Politécnico Nacional - Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Ciudad de México. Consultado el 30 de Julio del 2018.
- [14] Rangel, Francisco. “Notas de clase: Personal Earth Station – Sección 2-6”. Instituto Politécnico Nacional - Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Ciudad de México. Consultado el 30 de Julio del 2018.



[15] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2018). EN MÉXICO 71.3 MILLONES DE USUARIOS DE INTERNET Y 17.4 MILLONES DE HOGARES CON CONEXIÓN A ESTE SERVICIO: ENDUTIH 2017. 2018, de INEGI, IFT, SCT Sitio web:http://www.beta.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2018/OtrTemEcon/ENDUTIH2018_02.pdf