UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

DISEÑO DE UN ENLACE SATELITAL COMO SISTEMA BACKHAUL DE COMUNICACIONES MÓVILES

Presentado por:
CARRILLO SÁNCHEZ, ERIKA YESENIA.
VELANDIA MALDONADO, NATALIA ANDREA.
VILLA MORENO, NADIA CRISTINA.

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
ESPECIALIZACIÓN EN TELECOMUNICACIONES MÓVILES
SISTEMAS DE COMUNICACIONES MÓVILES II
AGOSTO 2018
BOGOTÁ

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN 5
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 6
JUSTIFICACIÓN 7
OBJETIVO GENERAL 8
OBJETIVOS ESPECÍFICOS 8
HIPÓTESIS 9
METODOLOGÍA 10
ETAPA I – Recolección de información 10
ETAPA II – Análisis y selección de la información 10
ETAPA III – Diseño 10
ETAPA IV – Documentación final 10
ESTADO DEL ARTE 11
SISTEMAS DE COMUNICACIONES MÓVILES 13
1.1. Tecnología móvil de segunda generación (2G) 13
1.1.1. Global System for Mobile Communication (GSM) 14
1.1.1.1. Arquitectura de la red GSM 14
1.1.1.2. Interfaces de una red GSM 17
1.1.1.3. Codificación de voz 18
1.1.1.4. Tecnología GPRS – EDGE 18
1.1.1.4.1. General Packet Radio Service (GRPS) 18
1.1.1.4.1.1. Esquema de codificación de canales "CS" 18
1.1.1.4.1.2. Red de transporte del sistema GPRS 19
1.1.1.4.2. Enhance Data Rate for GSM Evolution (EDGE) 19
1.1.1.4.2.1. Esquema de codificación de canales "MCS" 19
1.1.1.4.3. Arquitectura GPRS - EDGE 20
1.1.1.4.4. Interfaces GRPS - EDGE 21
1.2. Tecnología móvil de tercera generación (3G) 22

1.2.1. Universal Mobile Telecommunication System (UMTS) 22
1.2.2. Estructura de la red UMTS 22
1.2.3. Arquitectura de una red UTMS 23
1.2.4. Interfaces de una red UTMS 24
1.2.5. Tecnologías UTMS 25
1.2.5.1. High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) 25
1.2.5.2. High Speed Uplink Packet Access (HSUPA) 25
1.2.5.3. High Speed Packet Access Plus (HSPA+) 26
1.3. Tecnologías móviles 2G y 3G en Colombia 26
SISTEMAS DE COMUNICACIONES SATELITALES 27
2.1. Bandas de frecuencias 28
2.2. Tipos de órbitas 29
2.3. Acceso al Medio 30
2.4. Características de la estación terrena 30
2.4.1. Transmisión Estación Terrena 30
2.4.2. Recepción Estación Terrena 30
2.5. Beacon Receiver 31
2.6. Unidad de Control de Potencia Automático (AUPC) 31
2.7. Flujo de datos 31
DISEÑO DEL SISTEMA MÓVIL 2G – 3G 33
3.1. Tecnología 2G 36
3.2. Tecnología 3G 46
3.3. Simulación de las tecnologías móviles 2G y 3G 50
3.4. Topología física de la red móvil 2G y 3G 52
DISEÑO ENLACE PUNTO A PUNTO BACKHAUL SATELITAL 53
4.1. Puntos por enlazar 54
4.2. Segmento espacial 55
4.3. Transpondedor empleado 56
4.4. Parámetros del segmento terrestre 59
4.5. Energía por Bit a Densidad de ruido 60

4.6. Ángulos de Vista y Distancia Oblicua 62
4.7. Pérdidas de energía 68
4.8. Pérdidas Atmosféricas 68
4.9. Pérdidas por no alineamiento de las antenas 69
4.10. Pérdidas asociadas a la lluvia LLL 70
4.11. DISEÑO BOGOTÁ – LETICIA 73
4.12. DISEÑO LETICIA - BOGOTÁ 82
4.13. Red de tráfico para el enlace satelital 92
TRANSMISORES 92
CONCLUSIONES 94
REFERENCIAS 95

INTRODUCCIÓN

La evolución de la tecnología en telecomunicaciones y su importancia, hace necesario mantener la comunicación entre distintos puntos separados geográficamente. Las comunicaciones por satélite son una excelente alternativa para conectar lugares que por sus condiciones geográficas se hace difícil el tendido de fibra óptica y/o el emplazamiento de enlaces de microondas. Los enlaces satelitales tienen una gran cobertura geográfica, son confiables (99% de disponibilidad), son fáciles de implementar, soportan múltiples aplicaciones: vídeo, datos, voz; es ideal para comunicación punto – multipunto y poseen un ancho de banda asimétrico.

El satélite recibe la señal del enlace ascendente; que es emitida desde la estación terrena, la cambia de frecuencia, la amplifica y la retransmite por el enlace descendente hacia la tierra a determinada zona de cobertura también llamada huella del satélite. El tamaño de la cobertura o huella de satélite depende de la directividad de las antenas a bordo del satélite y de la potencia de transmisión.

Las frecuencias de operación en las cuales trabajan los satélites de telecomunicaciones están en la banda SHF (Super Hight Frecuency) del espectro radioeléctrico. En comunicaciones satelitales, el rango de frecuencias del espectro radioeléctrico que se decida utilizar determinará el costo, la capacidad y la potencia del sistema. Las grandes longitudes de onda (frecuencias bajas) pueden recorrer grandes distancias, atravesar obstáculos, rodear edificios o montañas, las longitudes de onda pequeñas (frecuencias altas) recorren menor distancia y son susceptibles a las hojas o a las gotas de lluvia (efecto “rain fade”), para contrarrestar este fenómeno se utilizan transmisores más potentes o antenas más directivas, las altas frecuencias pueden transportar mayor cantidad de información.

Para reducir al máximo la interrupción del servicio a nivel satelital, es recomendable brindar diversidad de espacio por medio de dos enlaces satelitales (Vsat), las estaciones terrenas deben estar distanciadas lo más posible geográficamente y preferiblemente con satélites diferentes ubicados en órbita con una separación de hasta 180° para reducir al máximo las posibilidades de afectación simultánea por mal clima, los enlaces pueden estar en modo activo/pasivo o activo/activo según criterio de diseño.

Así mismo, las redes móviles han ido evolucionando para dar solución a problemas de comunicación y conectividad, cada día la gran capacidad de usuarios que deben soportar, la utilización eficiente del espectro, amplias coberturas, movilidad, velocidad de transferencia, calidad de servicio, entre otros, son factores que marcan el desarrollo de estos sistemas.

Partiendo de los aspectos mencionados anteriormente, con el desarrollo de éste trabajo se busca diseñar un enlace satelital como sistema backhaul de comunicación móvil a partir de unos criterios y limitaciones de diseño relacionadas con la cantidad de usuarios por sector, esquemas de codificación, tecnología y cantidad de recursos propios de cada tecnología y con el fin de cumplir las necesidades de capacidad y cobertura en la ciudad de Leticia que se ven limitados en gran medida por su ubicación geográfica.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad la comunicación por telefonía móvil tiene una tendencia de uso creciente, lo que ha permitido un amplio desarrollo en infraestructura para satisfacer las necesidades de los usuarios frente a los operadores móviles.

De esta forma son más los usuarios que demandan servicios de voz y datos en zonas remotas de difícil acceso para los operadores móviles, debido a las condiciones geográficas y fisiográficas del terreno; lo que ha generado una dificultad al momento de tender red de fibra óptica o buscar implementar su servicio a través de enlaces de microondas.

Las comunicaciones han tenido avances tecnológicos que requieren un sistema backhaul que soporte los anchos de banda requeridos y la necesidad de los usuarios en tener mayores velocidades en la transmisión de voz y datos (multimedia); para cubrir esta demanda los operadores se ven en la necesidad de implementar nuevas alternativas para subsanar estos inconvenientes.

Actualmente diferentes compañías usan los enlaces satelitales como respaldo para brindar soluciones de telecomunicación; aunque debido a sus elevados costos no ha permitido que su implementación sea de forma masiva. Las empresas buscan la forma de prestar un servicio continuo y de calidad, por esto acuden a esta infraestructura en ciudades de difícil acceso.

Recurrir a un enlace satelital para conectar las radio base de telefonía móvil con el centro de conmutación del operador es una solución viable para extender su cobertura 2G, 3G e incluso 4G en áreas de difícil acceso, ayudando a expandir y mejorar la señal de forma rápida y eficiente.

JUSTIFICACIÓN

Actualmente existen muchos lugares en Colombia que son de difícil acceso para los operadores móviles, lo que ha restringido su cobertura y el avance de las distintas tecnologías en estas regiones del país, nuestro estudio se enfocará en el dimensionamiento de una red 2G y 3G móvil y el diseño de un enlace satelital punto a punto como sistema backhaul para comunicaciones móviles, con el fin de satisfacer las necesidades de una comunidad.

De acuerdo a su geografía y fisiografía, la Amazonia se encuentra cubierta en su mayor parte de numerosos pantanos, ríos y lagunas que lo convierten en la selva tropical más grande del mundo, por esta razón a los operadores móviles se les dificulta cubrir esta zona del país. En los últimos años el Amazonas se ha convertido en un importante centro turístico, lo que motiva a los operadores móviles a tener total cobertura en la ciudad de Leticia, teniendo en cuenta el aumento demográfico en distintas épocas del año.

De esta forma, en este documento se mostrará el diseño de un enlace satelital punto a punto que conecta las ciudades Leticia y Bogotá para transportar el tráfico de las tecnologías 2G y 3G en Leticia de acuerdo al dimensionamiento realizado de los usuarios que utilizarán dicho servicio.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar un enlace satelital como sistema backhaul de comunicación móvil entre las ciudades de Bogotá y Leticia, con el fin de brindar servicio 2G y 3G en la ciudad de Leticia.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar la red móvil 2G y 3G en Leticia, de acuerdo al dimensionamiento de la cantidad de usuarios que utilizarán el servicio.
- Realizar la planeación del tráfico para voz y datos que se transportará a través del enlace satelital.
- Registrar la información y parámetros a considerar para el diseño del enlace satelital entre Bogotá y Leticia.
- Realizar los cálculos del enlace satelital punto a punto entre Leticia y Bogotá que garantice la transmisión de la demanda de tráfico de la red móvil 2G y 3G de la ciudad de Leticia.
- Diseñar la topología física del enlace satelital en ambos extremos.

HIPÓTESIS

La ciudad de Leticia está ubicada en una zona considerada de difícil acceso, por tanto a los operadores móviles se les ha dificultado el despliegue total de infraestructura de las tecnologías 2G, 3G y 4G; las herramientas con las que actualmente se cuenta, se tiene más probabilidad de prestar los servicios de comunicaciones móviles a dichos sitios.

¿Es posible cubrir la zona de Leticia con servicio móvil 2G y 3G por medio de un enlace backhaul satelital?

METODOLOGÍA

ETAPA I – Recolección de información

- Realizar una investigación por medio de fuentes bibliográficas el diseño de enlaces satelitales y la arquitectura de las tecnologías 2G y 3G de las redes móviles, con el objetivo de recopilar la información necesaria para documentar y destacar los componentes que hacen parte de esta solución, con el propósito de adquirir el conocimiento necesario para dar cumplimiento a los objetivos propuestos.

ETAPA II – Análisis y selección de la información

- Finalizada la etapa anterior, se procederá con el análisis de la información recopilada para el diseño de una red móvil 2G-3G que brindará servicio a la ciudad de Leticia en Colombia, se dimensionará el tráfico que se va a transmitir a través del enlace backhaul satelital para determinar el ancho de banda que se requiere contratar al proveedor del segmento satelital.

ETAPA III – Diseño

- Como resultado de las etapas anteriores, se diseñará la topología de la red móvil y se realizará la simulación de la cobertura en Leticia de la red 2G y 3G mediante el software Xirio.

- Se realizarán los cálculos necesarios para el diseño del enlace satelital basado en los estándares y parámetros estudiados en la primera etapa de este proyecto, para determinar la potencia requerida en los transmisores de cada extremo del enlace satelital punto a punto que garanticen la calidad del enlace.

- Se evaluarán distintos proveedores de tecnología satelital y se diseñará la topología física de la red satelital

ETAPA IV – Documentación final

- Se realizará un documento escrito donde quedará consignado los diseños de cada una de las partes que componen el enlace satelital como backhaul de comunicación móvil.

ESTADO DEL ARTE

Diferentes compañías han visto como solución ante la alta demanda en las comunicaciones, la implementación de un sistema backhaul satelital, con el fin de enfrentar el desafío de mantener recursos técnicos, tiempos estables y presupuestos, sin ver afectado la calidad del servicio. A continuación, se enuncian soluciones aplicadas:

- *"**Nothern Sky Researh publica Wireless Backhaul via Satellite"** donde anticipa un importante crecimiento de la conectividad satelital impulsado por el crecimiento de las redes 3G y 4G/LTE". El interés por los operadores móviles por adoptar soluciones satelitales ha crecido con base en las nuevas necesidades. El backhaul vía satélite será el generador de oportunidades en los próximos 10 años. Este crecimiento está proyectado por la transición a servicios 3G y 4G junto con una integración de soluciones satelitales en el mercado del ecosistema global.*

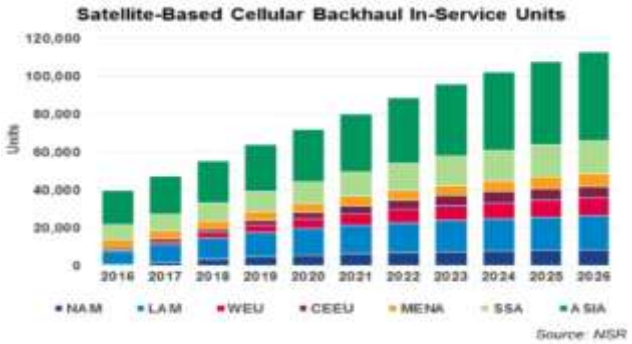


Imagen 1. Crecimiento de redes 3G y LTE con sistema Backhaul.Fuente: http://latamsatelital.com/backhaul-satelital-crece-la-demanda-datos/.

Esta transición no sólo influye en las comunicaciones móviles, sino también en los enlaces que se han venido desarrollando a nivel industrial y "The Internet of Things" (IoT); por tanto, una solución de este estilo a pesar de llevar bajos volúmenes de tráfico, son capaces de hacer frente a picos de tráfico.

Varias aplicaciones se pueden dar a esta solución:

- *Carreteras.*
- *Eventos deportivos.*
- *Lugares de temporada turística.*
- *Sitios de uso esporádicos.*

Las capacidades de combinar los enlaces terrestres con los enlaces satelitales generarán perspectivas de crecimiento positivo, buscando que las nuevas generaciones e incluso 3G y eventualmente 4G se conviertan en la norma para Backhaul por satélite.

- ***"Huawei presentó 4.5G Experience-driven Mobile Backhaul White Paper"*** *Durante el Huawei User Group Meeting 2016, se presenta un documento en el que se proponen soluciones a la evolución de diferentes escenarios, como la experiencia del cliente, O&M y otras preocupaciones con las que cuentan los operadores móviles. Esta solución provee una experiencia óptima, buscando mejorar rendimiento, en utilización de multimedia por parte del abonado (tiempos de carga, pixelación y congelamiento de la imagen) y a los operadores, la capacidad de localización de fallos y un despliegue de infraestructura rápida.*

- *El operador Claro en Ecuador transmite tráfico 4G LTE de las islas Galápagos a través de un enlace backhaul satelital. El enlace consta de dos extremos: Un extremo está ubicado en una isla de la provincia de Galápagos y el otro extremo está ubicado en la ciudad de Guayaquil, en donde se entrega el tráfico que viaja a través del enlace satelital desde y hacia Galápagos. El sistema satelital, cuenta con equipamiento de Radio Frecuencia (RF), Antena, Transmisor, Receptor y Plataforma Satelital de punta.*

- *El operador O3B (Other 3 billion: Los "otros tres mil millones" de habitantes del planeta que por falta de infraestructura aún no cuentan con un acceso fácil y rápido a internet), ha desplegado una constelación de satélites de última generación en la órbita MEO, entregando a los usuarios una conectividad superior, más asequible y más rápida. La órbita media reduce en casi un 70% el retardo, comparado con los satélites posicionados en la órbita geoestacionaria, en promedio 125 ms contra latencias de más de 500ms que tienen los enlaces con satélites en la órbita geoestacionaria.*

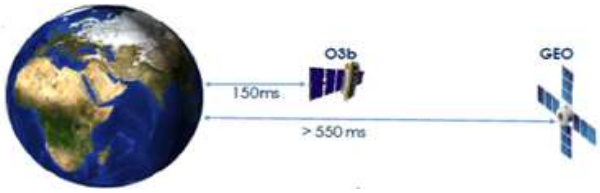


Imagen 2. Solución presentada por Entel. Autores.

- *Sprint operador móvil de Estados Unidos generan un despliegue rápido de servicio 4G - LTE de alta velocidad, buscando mejorar la competitividad y crecer en cantidad de abonados, decide ampliar su red en los mercados desatendidos con la entrega de servicios de voz y datos. En consecuencia, de esto, Sprint en pro de la innovación toma tecnologías de backhaul basadas en satélites que permiten un alto rendimiento de servicio al usuario final, dando cumplimiento a los estándares de calidad exigidos por el país. Como solución extiende de manera rentable su red con servicios de 2G y 3G proporcionando servicios de voz y datos a zonas rurales que no tenían cobertura móvil.*



Imagen 3. Plano de cobertura de Sprint. Fuente: Autores.

SISTEMAS DE COMUNICACIONES MÓVILES

Los sistemas de comunicaciones móviles permiten el intercambio de información (voz, datos, vídeo, señalización y/o control) entre terminales móviles y estaciones terrestres fijas mediante enlaces de radio, son sistemas de cobertura zonal debido a su principal característica de movilidad. A la zona que se pretende dar servicio es dividida en celdas (generalmente en forma hexagonal) de diferentes tamaños, de acuerdo con el número de usuarios conectados, cada una de estas–será atendida por una radio base a la que se restringe su propagación de ondas electromagnéticas con el fin de hacer reusó de frecuencias y evitar la interferencia cocanal.

Los sistemas de comunicación móvil están compuestos por los siguientes elementos:

Estaciones fijas (FS):

- **Estación base (BS):** Son fuente y destino de tráfico, es la estación central en una celda, contiene los transmisores y receptores para establecer los enlaces de RF con los terminales móviles

- **Estación repetidora (RS):** Su función es retransmitir las señales recibidas para dar una mayor cobertura.

- **Estación de control (CS):** Coordina y administra todas las BTS y establece las llamadas de voz entre los usuarios móviles. La tecnología que se utiliza es la misma que en la telefonía fija pero su software de gestión es más complejo ya que los terminales están en movimiento.

Estaciones móviles (MS): Es el terminal que permite al usuario establecer una llamada telefónica o realizar transmisión/recepción de datos a través de una interfaz de radio, envía información a la estación base para registrarse en la red, periódicamente actualiza la señal recibida desde las BTS y tiene la particularidad de ser portátil y/o moverse de un lugar a otro con un enlace establecido.

Equipos de control: Son los equipos que intervienen en la administración de las estaciones base; generan, reciben y transfieren llamadas, localizan e identifican usuarios, etc.

Se diferencian las tecnologías móviles por las generaciones que se van desarrollando a lo largo de los años, a continuación se dará una explicación sobre la tecnología 2G y 3G.

1.1. Tecnología móvil de segunda generación (2G)

La segunda generación (2G) se dio a conocer alrededor de 1990, permitió establecer enlaces simultáneos en un mismo ancho de banda, mayor capacidad en transmisión de datos entre dispositivos y cifrado en los enlaces de radio para asegurar la privacidad. Esta tecnología no está descrita en un sistema de comunicaciones móviles como un protocolo.

En el sistema de comunicaciones móviles 2G está representado por diferentes tecnologías que se desarrollaron por varias compañías, sin embargo, gracias a diferentes estudios se encontraron

limitaciones de capacidad por saturación e interferencia entre celdas e incompatibilidad entre los diferentes estándares que se utilizaban en diferentes países, lo que permitió escoger una nueva tecnología.

El estándar GSM (Global System for Mobiles communications) de segunda generación usado en Europa, fue difundido alrededor del mundo y acogido por Colombia para sus inicios en las comunicaciones móviles.

1.1.1. Global System for Mobile Communication (GSM)

Estándar de comunicaciones móviles establecido en Europa, adoptado de forma mundial al pasar el tiempo, durante años se realizaron investigaciones y se obtuvieron 4 versiones basadas en las bandas: GSM-850, GSM-900, GSM-1800 y GSM-1900; actualmente según datos estadísticos el 82% de las terminales usan esta tecnología.

El propósito principal de esta tecnología era la libre circulación de los abonados "Roaming", lo que significaba que el acceso de los servicios no se limitará a una red nacional, sino que pudiera hacer uso de sus servicios entre varios países.

1.1.1.1. Arquitectura de la red GSM

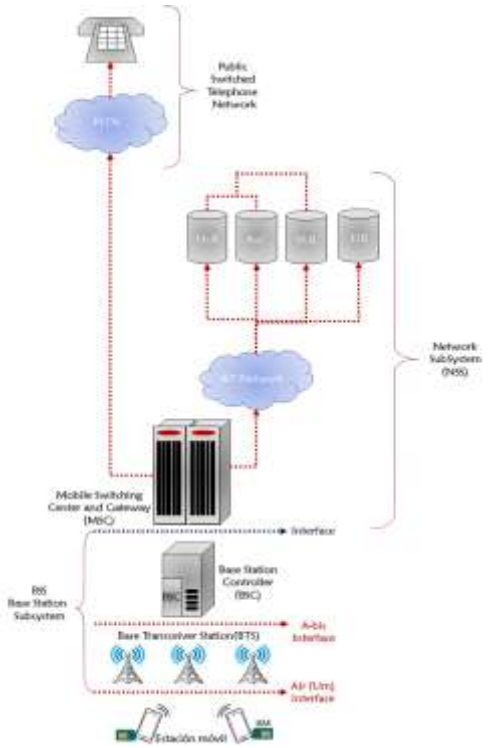


Imagen 4. Arquitectura red GSM. Fuente: Autores.

- **MT/TE: (Mobiles Terminal/ Terminal Equipment - Terminal Móvil):** Terminal que se comunica con la red móvil a través de la interfaz de aire (Um).

- **Tarjeta SIM: (Subscriber Identity Module - Módulo de Identidad del Suscriptor):** Tarjeta que almacena información sobre la línea telefónica móvil (identificación de zona, información del suscriptor, autenticación, servicios, etc.).

- **BTS: (*Base Transceiver Station - Estación Transceptora Base*):** En la segunda generación, es el elemento que está conectado a las antenas de telefonía móvil por medio de los cables que transmiten y reciben señales, cada antena en la torre cubre una zona o celda determinada, por lo tanto, la BTS gestiona todas las celdas.

  - Gestión de canales de radio
    - Envío de información de estos hacia la BSC.
    - Detección de accesos al sistema por parte de móviles.
    - Codificación y entrelazado para protección de errores.
    - Encriptación de la información de señalización y tráfico.

- **BSC (Base Station Controller - Controlador de estaciones base):** Conjunto de BTS, su principal funcionalidad es extraer el control de radio del centro de conmutación.

  - Gestión de canales
    - Configuración de los canales de radio.
    - Gestión de secuencias de salto de frecuencia.
    - Selección de canal, supervisión del enlace.
    - Control de potencia de la BSS.

  - Supervisión de estaciones bases
  - Gestión en transmisión hacia estaciones bases.
  - Localización de estaciones móviles

  El BSC genera la interfaz de señalización SS7 con el MSC, denominada interfaz A.

- **MSC (Mobile Switching Center - Centro de conmutación móvil):** Conjunto de BSC, se encarga de iniciar, canalizar y terminar las llamadas haciendo uso de BSC y BTS que corresponden al suscriptor.

- **VLR (Visitor Location Register - Registro de ubicación del visitante):** repositorio de información de las suscripciones de los móviles que operan en un área, cuando el móvil cambia de área de servicio el nuevo VLR debe actualizar los datos necesarios para establecer o continuar con la llamada.

- **HLR (Home Location Register - Registro de ubicación local):** Repositorio central de datos de los suscriptores, en GSM se puede tener uno o varios dependiendo de la organización de la red.

  - Información para enrutamiento
  - Número internacional de la estación base (IMSI)

- Restricciones
- Servicios suplementarios

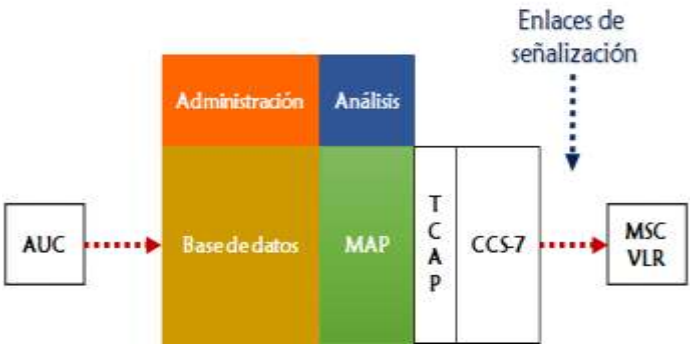


Imagen 5. Estructura del sistema HLR. Fuente: Autores.

- **AuC (Authentication Center - Centro de autenticación):** Contiene información de identificación de cada suscriptor:

  - Clave secreta Ki (128 bits), nunca se retira el AuC ni el MS (Número de identificación del suscriptor dentro de la red móvil).
  - Genera tres claves de autenticación:
  - SRES (Respuesta)
  - Kc (Clave de cifrado)
  - RAND (Número aleatorio)

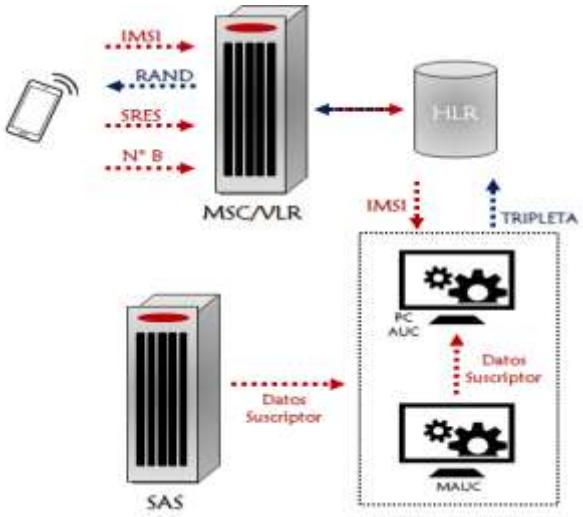


Imagen 6. Proceso de autenticación. Fuente: Fuente: Autores

- **EIR: (Equipment Identity Register - Registro de identificación de estaciones móviles):** Almacena los IMEI (International Mobile Station Equipment Identity) utilizados en el sistema. Contiene tres listas (Blanca, Gris, Negra) donde se almacenan los datos relacionados al equipo.

1.1.1.2. Interfaces de una red GSM

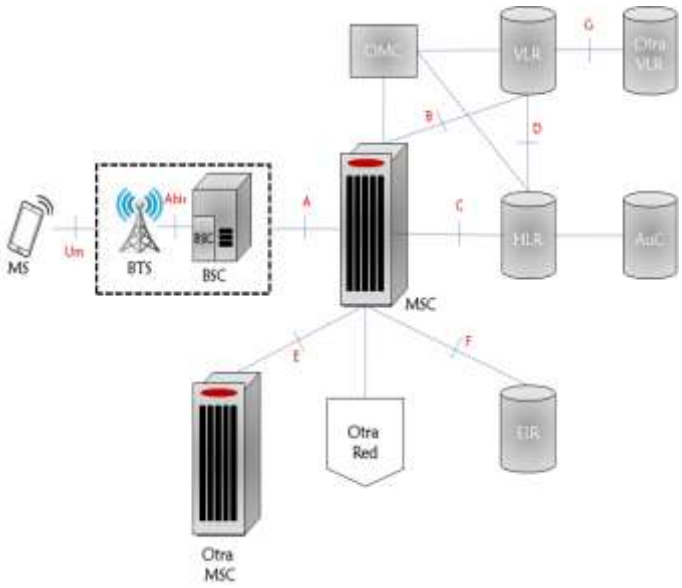


Imagen 7. Interfaces de GSM. Fuente: Fuente: Autores

- **Interfaz Um:** Radio de interfaz utilizada por las estaciones móviles para establecer una conexión con la estación base como punto de conexión para acceder a los servicios.

- **Interfaz A:** Conexión establecida entre el Mobile Switching Centre - Centro de conmutación móvil y el Base Station Subsystem - Subsistema de la estación base para intercambio de información relacionada a la gestión de la movilidad y el manejo de llamadas.

- **Interfaz A-bis:** Se establece esta relación entre la Base Station Controller - Controlador de estaciones base y Base Transceiver Station - Estación Transceptora Base.

- **Interfaz B:** Conexión entre el Mobile Switching Center - Centro de conmutación móvil y el Visitor Location Register - Registro de posición visitado para tener control de los visitantes y así ofrecer los servicios del sistema.

- **Interfaz C:** Comunicación entre el Mobile Switching Centre - Centro de conmutación móvil y el Home Location Register - Registro inicio de ubicación, con función de llevar un control de tarificación de los servicios consumidos.

- **Interfaz D:** Relación entre el Visitor Location Register - Registro de posición visitado y el Home Location Register - Registro inicio de ubicación con el fin de intercambiar datos de ubicación y suscripción del abonado para que pueda hacer uso de sus servicios.

- **Interfaz E:** Cuando existe cambio de zona por parte del abonado, donde es controlado por un Mobile Switching Centre - Centro de conmutación móvil a otra zona controlado por otra MSC; en estos casos se deben intercambiar información para que el sistema tenga una continuidad.

1.1.1.3. Codificación de voz

AMR (Adaptive Multi Rate Codec)
Consiste en un set de códigos de codificación y algoritmos adaptativos para cambios de codificación, los cuales proveen una mejora significativa en la calidad de la llamada además de incrementar la capacidad del canal y aun así mantener la calidad del Full Rate.

El AMR consta de 8 diferentes modos de códigos de voz que se listan a continuación, además del canal en Half Rate y Full Rate:

Code	Bit Rate [K/seg]
Full Rate	13
Half Rate	5,6
AMR 12,2	12,2
AMR 10,2	10,2
AMR 7,95	7,95
AMR 7,4	7,4
AMR 6,7	6,7
AMR 5,9	5,9
AMR 5,15	5,15
AMR 4,75	4,75

Tabla 1: Modos de código de Voz. Fuente: Autores.

1.1.1.4. Tecnología GPRS – EDGE

1.1.1.4.1. General Packet Radio Service (GRPS)

General Packet Radio Service “GPRS” fue diseñada con el objetivo de trasmitir datos a través de la red que era utilizada como el canal de voz, por ello se tiene un uso más eficiente los recursos de la red y el espectro radioeléctrico.

La transmisión de datos se logra con una conmutación de paquetes utilizando la modulación GMSK.

1.1.1.4.1.1. Esquema de codificación de canales “CS”

En General Packet Radio Service “GPRS” existen cuatro métodos diferentes de codificación, donde cada uno incorpora un nivel de redundancia.

Modelo de codificación de canal "CS"	Tasa de datos "kbps"	Tasa de datos máx. en 8 TSL "kbps"
1	9,05	72,4
2	13,4	107,2
3	15,6	124,8
4	21,4	171,2

Tabla 2. Codes Schemes para GPRS. Fuente: Autores

1.1.1.4.1.2.Red de transporte del sistema GPRS

Los dispositivos que conforman la arquitectura GPRS están interconectados mediante de redes de transportes IP, esta puede estar soportada de forma privada o en la red de un operador externo.

- **Intra-PLMN:** Permite la comunicación entre los SGSN y los GGSN de un mismo operador. Se puede conectar a través de un direccionamiento IP de forma remota.

- **Inter-PLMN:** Permite la intercomunicación entre los SGSN y GGSN de distintos operadores, utiliza la red IP empleando un alquiler de línea o una red de transporte conocida como GPRS Roaming eXchange (GRX).

1.1.1.4.2. Enhance Data Rate for GSM Evolution (EDGE)

EDGE es una evolución de las comunicaciones buscando mejorar las velocidades de transmisión en la segunda generación. Esta tecnología se introduce en una red de comunicaciones existente, lo que genera un pequeño cambio de infraestructura a nivel de hardware, sustituyendo partes de la radio frecuencia debido a que el tipo de modulación cambia a 8PSK.

1.1.1.4.2.1. Esquema de codificación de canales “MCS”

Existen nueve diferentes esquemas de modulación, esto permite proteger los errores de transmisión que se puedan presentar, la asignación al detectar algún error se ajusta de forma dinámica el esquema de codificación. Estos esquemas se diferencias en clases A, B y C.

Clase	Modelo de codificación de canal "MCS"
A	MCS-3, MCS-6, MCS-8 y MCS-9
B	MCS-2, MSC-5 y MCS-7
C	MCS-1 y MCS-4

Tabla 3. Clase de Codes Schemes para EDGE. Fuente: Autores

La distribución de esta forma es una ventaja, dado que si un bloque transmitido en uno de los esquemas de codificación no es reconocido, entonces puede enviarse como dos bloques. Adicional a esto, por cada pool (4TSL) se tiene 1 TSL de control.

Modelo de codificación de canal "MCS"	Tasa de datos "kbps"	A bis PCM Allocation (Fixed + Pool)
1	8,8	
2	11,2	
3	14,8	

Modelo de codificación de canal "MCS"	Tasa de datos "kbps"	A bis PCM Allocation (Fixed + Pool)
4	17,6	
5	22,4	
6	29,6	

Modelo de codificación de canal "MCS"	Tasa de datos "kbps"	A bis PCM Allocation (Fixed + Pool)
7	44,8	
8	54,4	
9	59,2	

Tabla 4. Codes Schemes para EDGE. Fuente: Autores

1.1.1.4.3. Arquitectura GPRS - EDGE

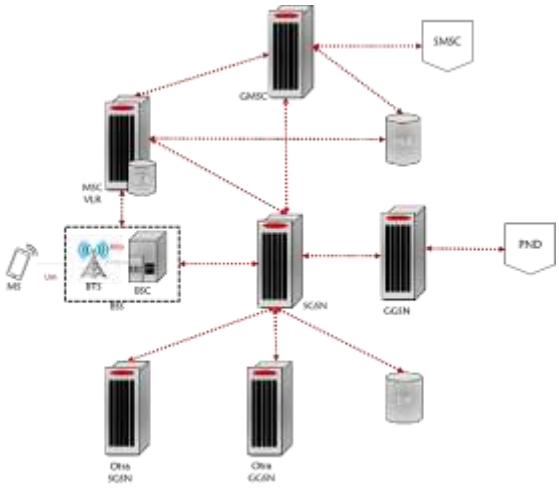


Imagen 8. Arquitectura red GPRS. Fuente: Autores.

- **SGSN (Serving GPRS Support Node):** Nodo de conmutación de paquete, se encarga de establecer la conexión inicial de los usuarios con la red móvil para transportar los datos, adicional a esto controla los aspectos de tarificación y seguridad de las comunicaciones.

- **GGSN (Gateway GPRS Support Node):** Nodo de conexión del terminal móvil a redes de datos externos para acceso de servicios basados en IP (Internet, Intranet). Adicional a esto incorpora funciones de monitorización del firewall, DNS y el Border Gateway.

    - **BG (Border Gateway):** Representa la puerta de conexión con otras PLMN posibilitando el intercambio de información de forma segura.

- **DNS (Domain Name System):** Sistema encargado de traducción de nombres lógicos de los nodos de la red a direcciones físicas. Este servidor es gestionado por el operador móvil.

  La funcionalidad principal es activar el contexto PDP que proporciona el GGSN al SSGN para acceder al servicio.

- **Firewall:** Elemento incorporado en las redes de comunicaciones para crear una barrera de seguridad entre ellas, es de suma importancia este dispositivo debido a que los usuarios tienen IP's pertenecientes al operador, si no existe una segmentación correcta tendrían acceso a la información de los abonados.

  Este dispositivo filtra contenido por políticas de la entidad y gubernamentales.

1.1.1.4.4. Interfaces GRPS - EDGE

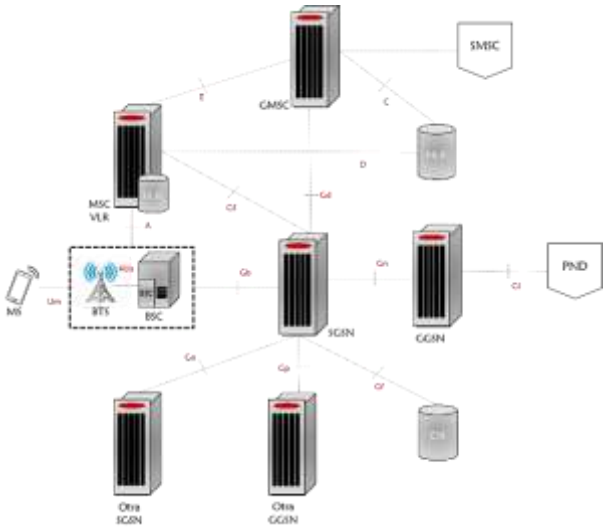


Imagen 9. Interfaces de GPRS. Fuente: Autores.

- **Interfaz Gb:** Interfaz que interconecta el SGSN y la BSS, realiza el intercambio de datos entre el usuario y la información de señalización. Proporciona un servicio de retransmisión por tramas en la conmutación de paquetes.

- **Interfaz Gn:** Es la interfaz que permite conectar al SGSN con otros GGSN o SSGN a través del backbone Intra-PLM. Recurre al uso del protocolo GTP para transportar datos directamente entre estos servidores.

- **Interfaz Gp:** La interfaz Gp realiza la interconexión entre los SGSN y los GGSN/SGSN de otros operadores.

- **Interfaz Gr:** Interfaz entre el GGSN y el HLR, para dar acceso a la información de usuario que se encuentra almacenada en el HLR, buscando la gestión de localización.

- **Interfaz Gs:** Interfaz que conecta el MSC/VLR con el SGSN para dar a conocer el acceso de la información local.

- **Interfaz Gc:** Interfaz que enlaza al GGSN y el HLR para la realizar la activación del contexto PDP.

- **Interfaz Gf:** Interfaz entre el SGSN y el EIR con el fin de verificar la identidad del terminal.

- **Interfaz Gi:** Esta interfaz realiza la conexión entre el GGSN y la red de datos, mediante el protocolo IP para transmitir y recibir información.

1.2. Tecnología móvil de tercera generación (3G)

La tercera generación (3G) se dio a conocer a finales de los años ochenta (80's) con el fin de proporcionar a los usuarios móviles dos tipos de servicios: datos y multimedia a alta velocidad; para la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) se conoce la norma IMT-2000 donde se tiene el camino a un acceso inalámbrico con una infraestructura global por medio de sistemas satelitales y terrestres lo que permitirá el uso de diferentes aplicaciones y servicios innovadores.

Esta tecnología es presentada por el Instituto Europeo de Telecomunicaciones (ETSI) con la norma UMTS (Universal Mobile Telecommunication System), sistema que se presenta por la evolución de la tecnología GSM (Global System for Mobile Communication) presente en la mayoría de las redes de comunicaciones móviles del mundo, mientras Estados Unidos presenta la evolución de los sistemas AMPS/IS-136 y CDMA/IS-95.

1.2.1. Universal Mobile Telecommunication System (UMTS)

Es un sistema Europeo desarrollado principalmente para países que cuentan con infraestructura GSM, la ventaja principal era combinar la telefonía móvil, redes locales de datos, radios móviles privados y sistemas de radiolocalización con nuevos rangos de frecuencias para brindar mayor capacidad. Estas licencias atraen gran interés porque representa la oportunidad de acceder a la información de forma personalizada y amigable.

1.2.2. Estructura de la red UMTS

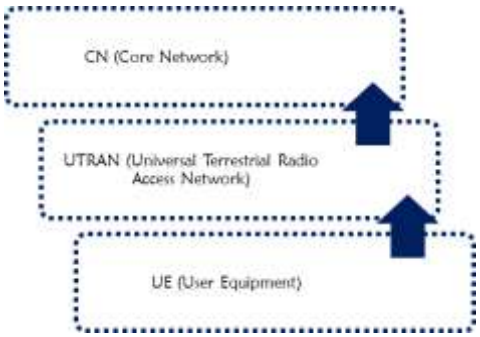


Imagen 10. Proceso de autenticación. Fuente: Autores

.

- **UE (User Equipment - Equipos de usuario):** Está compuesto por el terminal móvil y la tarjeta (SIM) de identidad del abonado (Identificación de zona, autenticación, planes de servicios).

- **UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network - Red de Acceso de Radio Terrestre UMTS):** Comprende diferentes subsistemas de redes. Las RNS (Radio Network System) son las responsables de la transmisión y recepción de un conjunto de celdas, que comprenden un RNC (Radio Network Controller) y diferentes nodosB.

  - **RNC:** Controla los recursos lógicos de una estación base (NoboB)

  - **NodoB - NodeB:** Hacen parte de la infraestructura de UMTS como las estaciones base.

- **CN (Core Network - Centro de red):** Incorpora funciones de transporte de la información y señalización. A través del núcleo de red, el UTMS se conecta con otras redes buscando que la conexión sea posible con otras tecnologías.

1.2.3. Arquitectura de una red UTMS

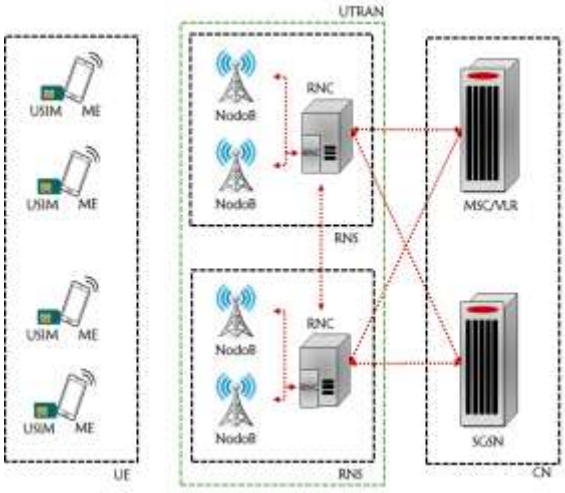


Imagen 11. Arquitectura red UTMS. Fuente: Autores.

- **RNS (Radio Network Subsystem - Subsistema de la red):** Conjunto de subsistemas que se encuentran formados por Nodos B y RNCs, cumpliendo como función de comunicación de la red.

- **NodoB:** En la tercera generación, es un nodo físico encargado de la transmisión y recepción para un conjunto de células. Cada Nodo B maneja su propia infraestructura, de modo que puede rechazar una conexión debido a las limitaciones de sus recursos de radio.

  Este elemento es el responsable de todas las funciones:

  - Enviar y recibir datos sobre la interfaz de aire

- Controlar la energía de las conexiones desde la terminal del usuario a la red
- Sincronización (TDD)

- **RNC (Radio Network Controller - Controlador de red):** Es el controlador de un RNS y en general de los recursos proporcionados por uno o varios nodos B. Algunas de las funciones:
  - Es el responsable de las decisiones de *handover* que requieran.
  - Señalización para establecer sesión
  - Manejo de tráfico en los canales compartidos

- **MSC (Mobile Switching Center - Centro de conmutación móvil):** Es la parte de una red que se encarga de coordinar y canalizar las llamadas de los móviles, adicional a esto recolecta los datos del abonado para el centro de facturación y control.

- **SGSN (Serving GPRS Support Node - Nodo de soporte del servicio GPRS):** Servicio de ubicación que permite realizar funciones de seguridad y control de acceso de una estación móvil.

1.2.4. Interfaces de una red UTMS

- **Interfaz Uu:** Conexión que se establece entre el Equipo de usuario (UE) y la red UTRAN por medio de señales radioeléctricas con el fin de acceder a los servicios de comunicación.

- **Interfaz Iub:** Se establece esta relación entre la Radio Network Controller (RNC) - Controlador de red y Nodo B. La conexión que se establece nunca es directa entre ambos equipos por las distancias que existen entre unas y otras, lo que requiere una red de transporte (WAN) entre un Nodo B y su RNC.

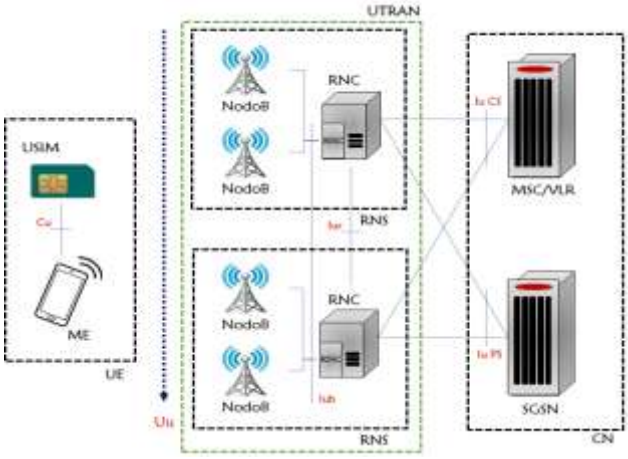


Imagen 12. Interfaces de UTMS. Fuente: Autores.

- **Interfaz Iur:** Enlace que se establece entre las Radio Network Controller, proporcionando las siguientes funciones:

    - Soporte básico de movilidad entre RNC

    - Soporte de procedimientos ligados a canales de tráfico dedicados, comunes y globales.

- **Interfaz Iu CS:** Conexión entre el Radio Network Controller y el Mobile Switching Center (Circuito de Conmutación).

    - Comunica el transporte de tráfico de voz y señalización entre la UTRAN y el núcleo de la red.

    - Esta interfaz es equivalente a la interfaz A de la red GSM.

- **Interfaz Iu PS:** Conexión entre el Radio Network Controller y el Serving GPRS Support Node (Paquete de Conmutación). Transporta información de datos y señalización entre la UTRAN y el núcleo de la red GPRS.

1.2.5. Tecnologías UTMS

High Speed Packet Access "HSPA" se encuentra compuesto por diferentes protocolos móviles que tiene como enfoque principal mejorar el rendimiento de las telecomunicaciones móviles en 3G, esto genera que se modifique infraestructura móvil del operado y por parte del usuario.

1.2.5.1. High Speed Downlink Packet Access (HSDPA)

HSDPA "3.5G" es una tecnología basada en la optimización espectral, el release 5 ante la 3GPP consiste en ser un canal compartido en forma descendente mejorando la capacidad de transferencia hasta alcanzar velocidades de 14 Mbps.

Para dar cumplimiento a estos requerimientos se realizan diferentes ajustes:

- Modulación y codificación adaptativa
- Planificación de usuarios por parte del NodeB
- Canales compartidos de alta velocidad

1.2.5.2. High Speed Uplink Packet Access (HSUPA)

HSUPA "3.75G" es una tecnología con el fin de generar una alta tasa de transferencia en el enlace de subida, el release 6 ante la 3GPP se enuncian los diferentes parámetros que ofrecen una mejora en velocidades lo que permitió un aumento a 5,76 Mbps.

1.2.5.3. High Speed Packet Access Plus (HSPA+)

HSPA + se estandariza en el release 7 ante la 3GPP, donde la modificación de las velocidades desde 28 Mbps hasta 42 Mbps en el enlace descendentes y de 11 Mbps hasta 22 Mbps en el ascendente.

Para soportar esta tecnología las antenas presentan la mejora al diseño de antenas MIMO "Multiple Input - Multiple Output" buscando que la conexión de paquetes sea continua para los usuarios y genere un soporte mayor a los servicios de red que son usados por los abonados.

1.3. Tecnologías móviles 2G y 3G en Colombia

El Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC) ha asignado las siguientes bandas de frecuencias para el uso de 2G y 3G en las telecomunicaciones móviles:

- *Banda de 850 MHz*: 824 MHz a 849 MHz pareada con 869 MHz a 894 MHz

- *Banda de 1900 MHz*: 850 MHz a 1.910 MHz pareada con 1.930 MHz a 1.990 MHz

De acuerdo con la última subasta, las frecuencias asignadas en Colombia están distribuidas entre los operadores móviles así:

- Claro: 850 MHz - 1900 MHz
- Movistar (Virgin Mobile): 850 MHz - 1900 MHz
- TIGO (Uff, UNE y ETB): 1900 MHz

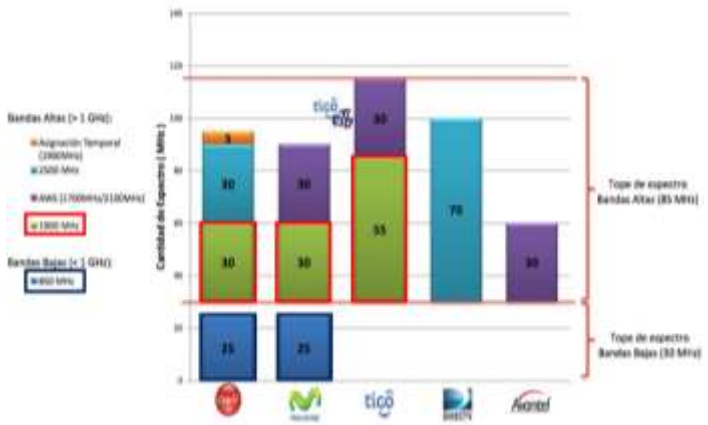


Imagen 13. Asignación actual del espectro radioeléctrico en Colombia. Fuente: http://www.ane.gov.co/index.php/2015-12-08-19-09-44/13-preguntas-y-respuestas-frecuentes/132-clasificacion-tematica-banda-de-38-ghz.

SISTEMAS DE COMUNICACIONES SATELITALES

Las comunicaciones por satélite tienen una gran cobertura geográfica, no tienen problema de línea de vista, es muy confiable (99% de disponibilidad), es fácil de implementar, y soporta múltiples aplicaciones: vídeo, datos, voz.

Otras ventajas de las comunicaciones por satélite son:

- Es ideal para comunicación punto - multipunto.
- Posee un ancho de banda asimétrico.
- Fácil análisis de tráfico debido a un único punto de gestión.
- Bajo BER - típicamente inferior a 10^{-8}.
- Simultáneo envío de datos a ilimitado número de estaciones.

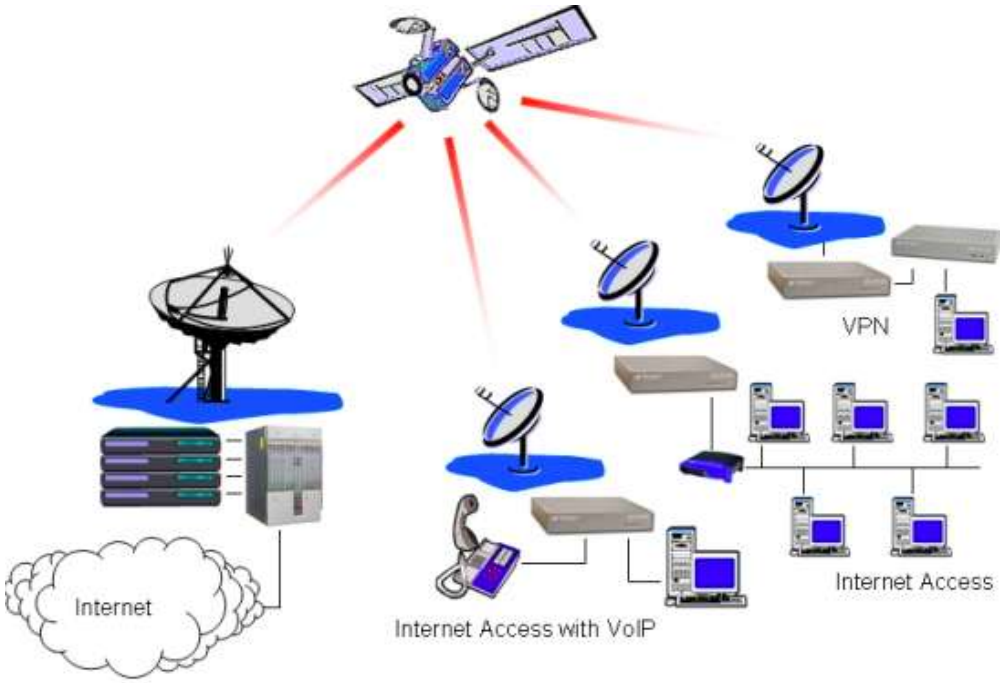


Imagen 14. Red satelital punto - multipunto.
Fuente: http://accesogjsl.blogspot.com/2011/07/redes-vsat.html

El satélite recibe la señal del enlace ascendente; que es emitida desde la estación terrena, la cambia de frecuencia, la amplifica y la retransmite por el enlace descendente hacia la tierra a determinada zona de cobertura también llamada huella del satélite.

El tamaño de la cobertura o huella de satélite dependerá de la directividad de las antenas a bordo del satélite y de la potencia de transmisión.



Imagen 15. Enlace ascendente, descendente y huella del satélite. Fuente: Instalación de telecomunicaciones. Antonio Pérez Luna. Primera edición 2014. Ediciones Paraninfo.

Las frecuencias de operación en las cuales trabajan los satélites de telecomunicaciones están en la banda SHF (Super Hight Frecuency) del espectro radioeléctrico.

El recurso que pone el satélite de comunicaciones a disposición de las estaciones terrenas es ancho de banda, por lo general posee un gran transpondedor de subida con 500 MHz de ancho de banda y otro gran transpondedor de bajada también de 500 MHz de ancho de banda.

Debido a que no existen amplificadores de potencia que puedan trabajar linealmente sobre un ancho de banda de 500 MHz, este ancho de banda es dividido en transpondedores más pequeños de 36 MHz sobre los que sí es posible disponer de amplificación de potencia operando en régimen lineal. Al dividir el ancho de banda total de 500 MHz entre 36 MHz se dispone de 12 transpondedores de subida y 12 transpondedores de bajada en el vehículo espacial.

El subsistema de comunicaciones traslada del transpondedor de subida al transpondedor de bajada ancho de banda, dentro del cual va la información procedente de las estaciones terrenas, también suministra ganancia a través de un amplificador de alta potencia (HPA).

A bordo del satélite de comunicaciones no hay procesamiento de la señal, ésta se realiza en los segmentos terrestres, en el satélite sólo se realiza traslado de frecuencia y suministro de potencia.

2.1. Bandas de frecuencias

En comunicaciones satelitales, el rango de frecuencias del espectro radioeléctrico que se decida utilizar determinará el costo, la capacidad y la potencia del sistema.

Las grandes longitudes de onda (frecuencias bajas) pueden recorrer grandes distancias, atravesar obstáculos, rodear edificios o montañas, las longitudes de onda pequeñas (frecuencias altas) recorren menor distancia y son susceptibles a las hojas o a las gotas de lluvia (efecto “rain fade”), para contrarrestar este fenómeno se utilizan transmisores más potentes o antenas más directivas, las altas frecuencias pueden transportar mayor cantidad de información.

En la siguiente tabla se muestran las distintas bandas utilizadas en comunicaciones satelitales y su rango de frecuencia en uplink y downlink:

Banda	Uplink (GHz)	Downlink (GHz)
L	0,9 - 1,6	0,9 - 1,6
S	2,483 - 2,5	1,610 - 1,625
C	5,925 - 6,425	3,7 - 4,2
Ku	14 - 14,5	11,7 - 12,2
Ka	27,5 - 30,5	17,7 - 21,7

Tabla 6: Bandas de frecuencia. Fuente: Autores.

A continuación, se mencionan algunas ventajas y desventajas de cada banda de frecuencias:

- **Banda L**
  - Ventaja: Pueden recorrer grandes distancias, poco susceptibles a obstáculos y lluvia, requiere transmisores de menor potencia.
  - Desventaja: Poca capacidad de transmisión de datos.
- **Banda C**
  - Ventaja: Menos susceptible a las condiciones climáticas que la banda Ku.
  - Desventaja: Alto costo de equipamiento.
- **Banda Ku**
  - Ventaja: Traspasan la mayoría de los obstáculos.
  - Desventaja: Un poco más susceptible a las condiciones climáticas que la banda C, la mayoría de las ubicaciones están adjudicadas.
- **Banda Ka**
  - Ventaja: Muchas ubicaciones disponibles, se puede transportar gran cantidad de información.
  - Desventaja: Muy sensible a condiciones ambientales (lluvia, nubosidad), se requiere transmisores muy potentes.

2.2. Tipos de órbitas

Los satélites se ubican en órbitas diferentes según su finalidad y misión. A continuación, se mencionan las principales órbitas según su distancia con la superficie de la tierra:

- **LEO (Low Earth Orbit):** Están situadas entre 200 y 2000 Km de distancia con la superficie terrestre.
- **MEO (Medium Earth Orbit):** Están situadas entre 20000 y 30000 Km de distancia con la superficie terrestre.

- **GEO (Geosynchronous Orbit):** Están situadas a 35.786 Km de distancia con la superficie terrestre sobre el ecuador, son utilizadas por los satélites de telecomunicaciones.

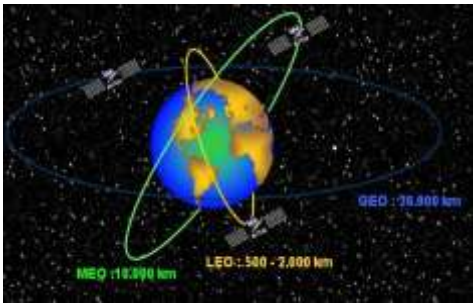


Imagen 14. Orbitas.
Fuente: https://sites.google.com/site/chichin1985/telecomunicaciones/rbitas-satelitales

2.3. Acceso al Medio

El recurso es finito y los usuarios infinitos, por lo tanto, hay un problema de acceso al medio que se resuelve con técnicas de acceso al medio: FDMA (Acceso al Medio por División de Frecuencia), TDMA (Acceso al Medio por División de Tiempo) y CDMA (Acceso al Medio por División de Código).

La ventaja de utilizar FDMA es que no se requiere sincronismo y por ende no hay problemas de relojes.

La ventaja de utilizar TDMA es eficiencia espectral y su desventaja es el sincronismo, al llegar la información debe almacenar y enviar con una velocidad mayor.

Al utilizar CDMA hay varios usuarios en la misma frecuencia, en el mismo slot de tiempo pero códigos diferentes. Para poder implementar CDMA se utiliza una técnica de procesamiento digital de señales llamada Spread Spectrum que principalmente tiene dos maneras: Frecuency Hopping y Direct Secuency.

2.4. Características de la estación terrena

2.4.1. Transmisión Estación Terrena

El transmisor de la estación terrena convierte la frecuencia banda base en frecuencia intermedia (FI), sobre la portadora de FI se realiza la modulación digital y se realiza la conversión hacia arriba (Up Converter), al tener la FI en alta frecuencia sobre el carrier que se va a transmitir hacia el satélite se le suministra amplificación de alta potencia. La señal sube a través de una guía de onda hacia la antena y de allí se irradia la señal de RF en frecuencia de subida hacia el satélite.

2.4.2. Recepción Estación Terrena

Se recibe la portadora de RF en la antena con frecuencia de bajada procedente del satélite de comunicaciones, baja a través de una guía de onda y pasa por un amplificador de bajo ruido (LNA), se realiza conversión de frecuencia hacia abajo (Down Converter) para pasar la señal a frecuencia

intermedia (FI). Se demodula la portadora de frecuencia intermedia y se obtiene la señal en banda base. La unión del LNA con el convertidor hacia abajo se conoce como LNB (Low Noise Block).
En las imágenes 15 y 16 se puede observar el diagrama de bloques de la recepción y transmisión desde la estación terrena hacia el satélite.



Imagen 15. Diagrama de bloques transmisión Estación Terrena. Fuente: Autores.



Imagen 16. Diagrama de bloques recepción Estación Terrena. Fuente: Autores.

2.5. Beacon Receiver

Todos los satélites tienen levantada una portadora en determinada frecuencia, la cual es monitoreada con el beacon receiver, recibe la señal con determinada potencia en dB, la convierte en voltios y con ese nivel de potencia se controla la potencia de transmisión. Cuando se presenta lluvia o nubosidad las señales se atenúan, el nivel de potencia del beacon varía y el voltaje también baja.

Otra función del beacon receiver es poder manipular la antena de acuerdo con la potencia recibida, cuando el satélite está en el center box se recibe el mejor nivel de potencia del beacon, se puede programar la antena para que se mueva de acuerdo con estos valores.

2.6. Unidad de Control de Potencia Automático (AUPC)

La AUPC es un atenuador de la potencia que recibe del beacon, en el mejor de los casos atenúa 6 dB, cuando se presenta lluvia o alta nubosidad la potencia del beacon baja y entrega menor voltaje a la AUPC, para controlar la potencia que se entrega al transmisor la AUPC reduce la atenuación.

2.7. Flujo de datos

El hub satelital es un conjunto de equipos en una estación terrena que trabajan en transmisión y recepción para la administración y control de los recursos de la red satelital. Se conoce como Outbound el camino de la transmisión desde el hub (a través del satélite) hacia las vsats e Inbound al camino de la transmisión desde las Vsats (a través del satélite) hacia el hub.

A continuación, en la imagen 17 se detalla el flujo de los datos en un enlace punto – multipunto.

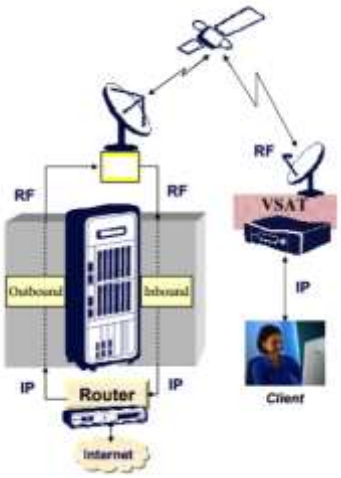


Imagen 17. Flujo de datos Inbound y Outbound.
Fuente: SkyEdge Data Flow Gilat.

Inbound (Entrante)

1. Los paquetes son enviados desde el PC del cliente hacia la Vsat.
2. Los paquetes son modulados a una señal RF.
3. La señal es transmitida hacia el satélite a través de la ODU de la Vsat.
4. El satélite retransmite la señal hacia el hub.
5. Los paquetes son reenviados a los host a través de un router.
6. Llegan paquetes desde los hosts hacia el router.

Outbound (Saliente)

1. El router reenvía los paquetes hacia el camino de salida (Outbound).
2. Los paquetes son modulados en una señal RF y transmitido hacia el satélite.
3. El satélite reenvía la señal hacia la Vsat.
4. La señal RF es recibida por la Vsat. La Vsat reensambla el paquete IP y lo envía al PC del cliente.

DISEÑO DEL SISTEMA MÓVIL 2G – 3G

Leticia es la capital del departamento del Amazonas, ubicada al sur del país. Su población está conformada por indígenas de diversas comunidades como los Yaguas, Tucanos, Ticunas, Camsas e Ingas y personas de diferentes ciudades de Colombia las cuales presentan oportunidades de trabajo, negocio y turismo (Afrocolombianos, Mestizos y Blancos).

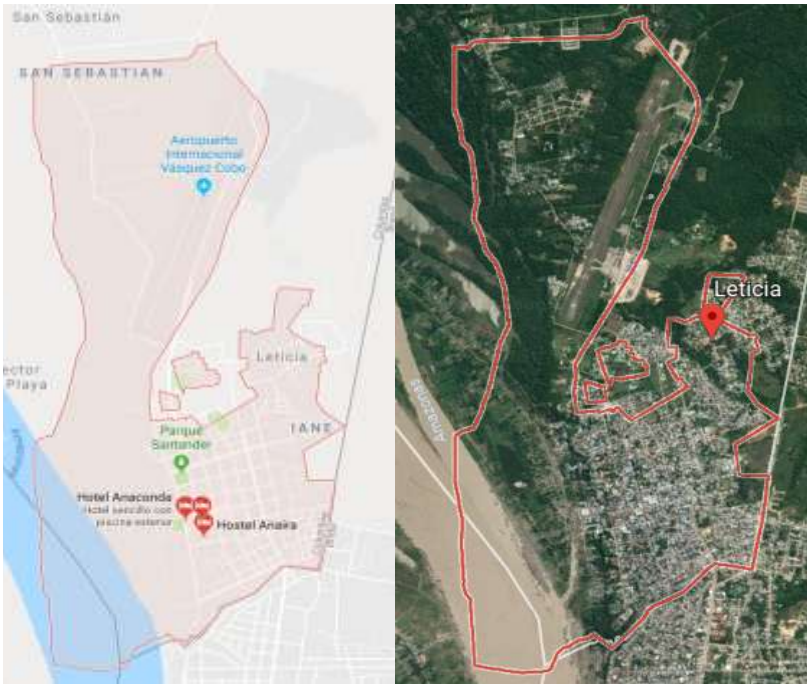


Imagen.18. Ciudad de Leticia. Fuente: Google Maps.

De acuerdo con estudios realizados en la región por parte del Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones "MinTIC", el servicio de voz por parte del operador Movistar presenta una buena cobertura en la zona urbana, pero en cercanías al aeropuerto y periferia de degrada la señal, el operador Claro presenta accesibilidad en el servicio pero sus comunicaciones al momento de establecerse son fallidas, mientras que Tigo presenta una deficiencia en el servicio. La información demográfica de la ciudad de Leticia será la base para definir el alcance de la capacidad y cobertura de la red móvil.

El Departamento Administrativo Nacional de Estadística "DANE" durante el año 2005 finaliza el censo realizado como fecha límite 30 de junio, debido a que la población tiende a ser creciente a través de los años, realizaron una proyección del crecimiento poblacional hasta el año 2020.

Año	Total	Cabecera	Rural
2005	37832	23811	14021
2006	38234	24092	14142
2007	38609	24364	14245
2008	38957	24627	14330
2009	39317	24882	14435
2010	39667	25128	14539
2011	40008	25365	14643
2012	40342	25594	14748
2013	40673	25813	14860
2014	41000	26024	14976
2015	41326	26226	15100
2016	41639	26420	15219
2017	41957	26604	15353
2018	42280	26780	15500
2019	42610	26948	15662
2020	42956	27106	15850

Tabla 7. Población proyectada Fuente: DANE

La población proyectada para el año 2020 es de 42.956 habitantes, planteando un crecimiento poblacional por persona que arribe a la zona por turismo o trabajo se estima un 0,5%, con el cual se determina una densidad demográfica para la solución.

$$Densidad\ demografica\ estimada = Densidad\ demografica\ (2020) \times (1 + \%incremento\ poblacional)$$

$$Densidad\ demografica\ estimada = Densidad\ demografica\ (2020) \times (1 + 0{,}005)$$

$$Densidad\ demografica\ estimada = Densidad\ demografica\ (2020) \times (1{,}005)$$

$$Densidad\ demografica\ estimada = 42.956 \times (1{,}005)$$

$$Densidad\ demografica\ estimada = 43.170{,}78$$

$$Densidad\ demografica\ estimada \approx 43.171\ pobladores$$

El consumo móvil a lo largo de los años se ha vuelto indispensable para tener un mundo conectado, durante septiembre del año 2015 la firma Deloitte Colombia realizó una encuesta del Consumo móvil en el mundo con el fin de estudiar el comportamiento de los consumidores, tecnologías, productos y servicios, este ejercicio fue desarrollado alrededor de 31 países y 49.000 entrevistados representando el 70% de la población mundial. En Colombia la muestra poblacional fue de 1.000 casos integrando edades, regiones, niveles económicos, etc.; este estudio realizado demostró que el consumo móvil tiene una tendencia creciente haciendo que el mundo sea globalizado día a día a través de las comunicaciones especialmente entre los 16 y 40 años. Realizando una comparación entre los operadores que lideran el mercado de las telecomunicaciones en Colombia, Movistar tiene una participación del 24,7% en el mercado, de tal forma para ir generando un incremento de este indicador se define un porcentaje de usuarios simultáneos igual al 6,5% de la densidad demográfica

de la ciudad de Leticia para determinar los recursos necesarios para dar cobertura en las tecnologías 2G y 3G.

$$Usuarios\ simultaneos = Dde\ \times \%simultaneo$$

$$Usuarios\ simultaneos = 43.171\ \times 6{,}5\%$$

$$Usuarios\ simultaneos = 2.806{,}12$$

$$Usuarios\ simultaneos \approx 2.807$$

La ciudad de Leticia, Amazonas se encuentra a 100m sobre el nivel de mar presentando un clima húmedo y caliente a través de sus bosques lluviosos. Se ubica en la latitud 4,2081 S y longitud 69,9432 W con un área de cobertura alrededor de 5.968 km^2. La Amazonia al ser una extensa zona forestal comprendida por grandes selvas se presenta llanuras de relieve plano y la saliente del Vaupés, la capital Leticia es unos de los principales centros urbanos de la zona presentando un relieve plano, pero de suelo arcilloso, arenoso.

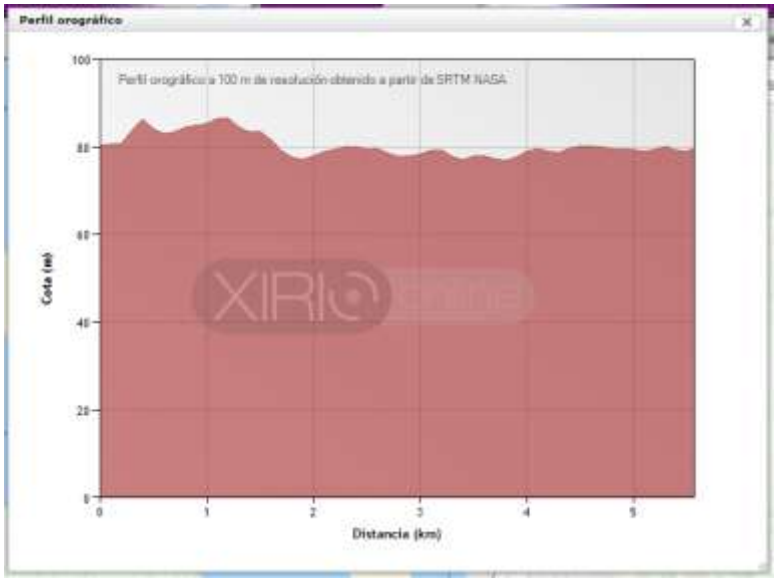


Imagen 19. Perfil Orográfico de Leticia, Amazonas. Fuente: Autores.

El despliegue de las Tecnología móviles en GSM - UMTS en la ciudad de Leticia esta proporcionadas para dar cubrimiento a los usuarios del 45% en la segunda generación "2G" y del 55% para la tercera generación "3G", debido a que la mensajería instantánea y las redes sociales son de las tecnologías más usadas en el mundo por los dispositivos móviles, provocando que los servicios de voz disminuyan frente a estos. Cabe resaltar que para las comunicaciones móviles el servicio de voz va a presentar la prioridad al momento de asignar los recursos.

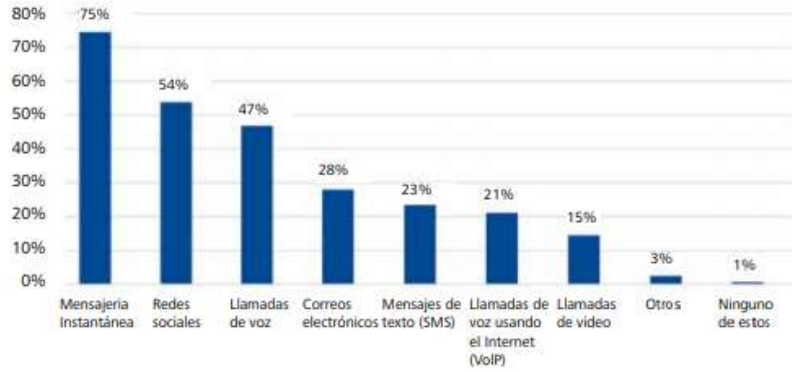


Imagen. 20. Modalidades de uso para comunicarse con las personas
Fuente: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/co/Documents/technology-media-telecommunications/Deloitte%20-%20Consumidores%20m%C3%B3viles%202015%20Colombia(Baja).pdf

- Usuarios tecnología 2G

$$\text{Usuarios 2G} = \text{Usuarios simultaneos} \times \%\text{tecnologia 2G}$$

$$\text{Usuarios 2G} = 2.807 \times 45\%$$

$$\text{Usuarios 2G} = 1.263{,}15$$

$$\text{Usuarios 2G} \approx 1.264$$

- Usuarios tecnología 3G

$$Usuarios\ 3G = Usuarios\ simultaneos \times \%tecnologia\ 3G$$

$$Usuarios\ 3G = 2.807 \times 55\%$$

$$Usuarios\ 3G = 1.543{,}85$$

$$Usuarios\ 3G \approx 1.543$$

3.1. Tecnología 2G

Las estaciones base de Telefonía Móvil representan una cobertura determinada para brindar el servicio a los usuarios, para ello las Base Transceiver Station "BTS" están delimitadas por sectores y cuentan con un número de canales de comunicación limitados. Normalmente, se estiman 20 a 40 llamadas simultáneas, debido a que si superan estas condiciones es más probable que se sature la red produciendo bloqueos en las llamadas o hasta el punto de no generar la conexión. Los usuarios simultáneos por cada sector serán de 20 por voz en donde tendremos un 50% de conexiones Full Rate y 50% Half Rate. Las conexiones de datos estarán delimitadas en el sector por 30 usuarios simultáneos trabajando con la tecnología General Packet Radio Service "GPRS" en un 20% mientras que con la tecnología Enhaced Data Rates for GSM "EDGE" se establece un 80% del sistema.

- 20 usuarios para voz (50% Full Rate y 50% Half Rate)

  Full Rate:

$$Usuarios\ full\ rate = 20\ usuarios\ \times 50\%$$
$$Usuarios\ full\ rate = 10\ usuarios$$

  Half Rate:

$$Usuarios\ full\ rate = 20\ usuarios\ \times 50\%$$
$$Usuarios\ full\ rate = 10\ usuarios$$

- 30 usuarios para datos (80% EDGE y 20% GPRS)

  EDGE:

$$Usuarios\ EDGE = 30\ usuarios\ \times 80\%$$
$$Usuarios\ EDGE = 24\ usuarios$$

  GPRS:

$$Usuarios\ EDGE = 30\ usuarios\ \times 20\%$$
$$Usuarios\ EDGE = 6\ usuarios$$

Interfaz A_{bis}:

- **Voz**
  Los time slots requeridos para Voz considerando que un (1) time slot puede ser ocupado por una (1) llamada en Full rate o dos (2) llamadas en Half rate:

  - **Full Rate:** Al ser 10 usuarios que se asigna un canal por cada uno se requieren 10 TSL.
  - **Half Rate:** Al ser 10 usuarios que comparten canal por cada uno se requiere la disponibilidad de 5 TSL.

- **Datos**
  - **GPRS:**
    Los datos a través de la tecnología GPRS son definidos por los TBF, que se componen de agrupación de TSL, para este caso la relación de TBF es uno $(1/3)$ por lo tanto se asigna para un (1) TSL tres (3) usuarios. Con lo anterior para 6 usuarios se requieren 2 TSL

$$Cant\ TSL_{GPRS} = Cant\ de\ usuarios\ \times TBF\ [TSL]$$

$$Cant\ TSL_{GPRS} = 6\ Usuarios\ \times \frac{1}{3}\ TSL$$

$$Cant\ TSL_{GPRS} = 2\ TSL$$

- **EDGE:**
  Los TSL para datos a través de la tecnología EDGE están definidos por el Modulation Coding Scheme (MCS) en donde se diferencian por la velocidad de transmisión y la cantidad de TSL que utiliza para alcanzar determinada velocidad, dado que la mayoría de los usuarios navega en tecnologías superiores por el avance tecnológico, se define trabajar con MCS 4 que utiliza 1 TSL por usuario.

  - 24 usuarios para datos EDGE requieren 24 TSL

$$24\ Usuarios\ \times 1\ TSL = 24\ TSL$$

  - Definido la cantidad de TSL por pools a usar se debe establecer la cantidad de TSL de control asociados:

$$TSL\ Control\ Edge = \frac{TSL\ Datos\ Edge}{4}$$

$$TSL\ Control\ Edge = \frac{24}{4}\ TSL$$

$$TSL\ Control\ Edge = 6\ TSL$$

La cantidad de Time Slots requeridos son 49 TSL, distribuidos de la siguiente manera:

Descripción	TSL
Voz Full Rate	10 TSL
Voz Half Rate	5 TSL
Datos Edge	24 TSL
Datos GPRS	2 TSL
Control Edge	6 TSL
Señalización y control	2 TSL
Total	**49 TSL**

Tabla 8. Cantidad de TSL por sector. Fuente: Autores.

Para estimar la cantidad de los TRX necesarios por sector, se tiene en cuenta que 1 TRX está conformado por 8 time slots, de esta forma se tiene:

$$Cantidad\ de\ TRX\ por\ sector = \frac{Número\ de\ TSL}{8}$$

$$Cantidad\ de\ TRX\ por\ sector = \frac{49}{8}\ TRX$$

$$Cantidad\ de\ TRX\ por\ sector = 6{,}125\ TRX$$

$$Cantidad\ de\ TRX\ por\ sector \approx 7\ TRX$$

A continuación, se plantea la forma en que pueden ser distribuidos los time slots de la tecnología 2G en un sector:

	TSL0	TSL1	TSL2	TSL3	TSL4	TSL5	TSL6	TSL7
TRX0	**BCCH**	**SDCCH**	Voz Full Rate	Voz Full Rate	Voz Full Rate	Voz Full Rate	Voz Full Rate	Voz Full Rate
TRX1	Voz Full Rate	Voz Full Rate	Voz Full Rate	Voz Full Rate	Voz Half Rate	Voz Half Rate	Voz Half Rate	Voz Half Rate
TRX2	Voz Half Rate	Datos GPRS	Datos GPRS	Datos EDGE	Datos EDGE	Datos EDGE	Datos EDGE	Control EDGE
TRX3	Datos EDGE	Datos EDGE	Datos EDGE	Datos EDGE	Control EDGE	Datos EDGE	Datos EDGE	Datos EDGE
TRX4	Datos EDGE	Control EDGE	Datos EDGE	Datos EDGE	Datos EDGE	Datos EDGE	Control EDGE	Datos EDGE
TRX5	Datos EDGE	Datos EDGE	Datos EDGE	Control EDGE	Datos EDGE	Datos EDGE	Datos EDGE	Datos EDGE
TRX6	Control EDGE	Libre	Libre	Libre	Libre	Libre	Libre	Libre

Imagen.21. Distribución de TSL por TRX en un sector. Fuente: Autores.

TSL	Descripción
BCCH	TSL asignado para enviar a los móviles los parámetros necesarios para identificar la red y tener el acceso a la misma.
SDCCH	TSL asignado para la autenticación y envío de parámetros previo al establecimiento de una llamada.
Voz Full Rate	TSL asignado para voz Full rate.
Voz Half Rate	TSL asignado para voz Half rate.
Datos Edge	TSL asignado para Datos Edge.
Control Edge	TSL asignado para control Datos Edge.
Libre	TSL disponible.

Tabla. 9. Descripción de TSL. Fuente: Autores.

Los TRX son ubicados en cada sector de la radiobase, por ello se debe estimar la cantidad de sectores que se requieren para proporcionar los recursos y cobertura a 1.166 usuarios, como se mencionó anteriormente la cantidad máxima de usuarios por sector serán de 20 para voz y 30 para datos de forma simultánea.

$$Cantidad\ de\ sectores = \frac{Usuarios\ 2G}{Usuarios\ voz + Usuarios\ datos}$$

$$Cantidad\ de\ sectores = \frac{1.264}{20 + 30}$$

$$Cantidad\ de\ sectores = \frac{1.264}{50}$$

$$Cantidad\ de\ sectores = 25{,}28\ sectores$$

$$Cantidad\ de\ sectores \approx 26\ sectores$$

Para dar cubrimiento en la ciudad de Leticia a 1.264 usuarios se requieren 26 sectores que serán distribuidos en 3 sectores para cada BTS, de esta forma se calcula la cantidad de Base Transceiver Station "BTS" que serán ubicadas.

$$Cantidad\ BTS = \frac{Cantidad\ de\ Sectores}{Sectores\ por\ BTS}$$

$$Cantidad\ BTS = \frac{26}{3}$$

$$Cantidad\ BTS = 9\ BTS$$

De esta forma la cantidad total de TRX por cada BTS está dada por la cantidad de sectores en el nodo.

$$Total\ TRX = Cantidad\ de\ TRX\ por\ sector * Número\ de\ sectores$$

$$Total\ TRX = 7\ TRX * 3\ sectores$$

$$Total\ TRX = 21\ TRX$$

La cantidad de TSL utilizados en cada nodo permitirá realizar el dimensionamiento de tráfico de cada BTS, este dato se obtiene:

$$Total\ TSL = Cantidad\ de\ TSL\ por\ sector * Número\ de\ sectores$$

$$Total\ TSL = 56 * 3\ sectores$$

$$Total\ TSL = 168\ TSL$$

El tráfico a través de la interfaz A_{bis} se transfiere por medio de un formato de transmisión digital conocido como "E1", por lo tanto se debe calcular la cantidad de E1 que se requiere para transportar los 168 TSL de voz y datos.

Un E1 posee 32 canales de 64kbps distribuidos de la siguiente forma: El canal No 0 es separado para efectos de segmentación y el No 16 para propósitos de señalización, por lo que se tienen disponibles 30 canales para tráfico, debido a la capacidad de 1 TSL con una velocidad de 16kbps el canal E1 puede transmitir 4TSL. Con este planteamiento se calcula la cantidad de canales E1 para transmitir con la solución planteada.

$$Total\ canales\ E_1 = \frac{Total\ TLS}{4}$$

$$Total\ canales\ E_1 = \frac{168}{4}$$

$$Total\ canales\ E_1 = 42\ Canales\ E1$$

Para calcular el total de E1 para la interfaz A_{bis}:

$$Total\ E_1 = \frac{Total\ canales\ E_1}{30}$$

$$Total\ E_1 = \frac{42}{30}$$

$$Total\ E_1 = 1{,}4\ E_1$$

$$Total\ E_1 \approx 2\ E_1$$

El tráfico de datos con tecnología GPRS será planteado con un Coding Scheme 3 "CS3" que cuenta con una velocidad de transferencia igual a 15,6 kbps.

$$Tráfico\ Data\ (TD_{GPRS}) = Cantidad\ de\ TSL\ (Datos)\ \times CS\ \times Cantidad\ de\ Sectores \times\ Cantidad\ de\ RadioBases$$

$$Tráfico\ Data\ (TD_{GPRS}) = 2\ \times 15{,}6\ kbps\ \times 3\ \times 9$$

$$Tráfico\ Data\ (TD_{GPRS}) = 842{,}4\ kbps$$

Mientras que para la tecnología EDGE se utilizara un esquema de codificación 4 "MCS4" que tiene una velocidad de transferencia igual a 17,6 kbps. Adicional a esto se calcula el tráfico de control de los TSL de esta tecnología, cada uno de ellos tiene una velocidad de 16 kbps.

$$Tráfico\ Data\ (TD_{EDGE}) = Cantidad\ de\ TSL\ (Datos)\ \times \frac{MCS}{TSL\ (MCS)} \times Cantidad\ de\ Sectores \times\ Cantidad\ de\ RadioBases$$

$$Tráfico\ Data\ (TD_{EDGE}) = 24\ \times \frac{17{,}6\ kbps}{1} \times 3 \times 9$$

$$Tráfico\ Data\ (TD_{EDGE}) = 11{,}4\ Mbps$$

$$Tráfico\ Control\ (C_{EDGE}) = Cantidad\ de\ TSL\ (Datos)\ \times CS\ \times Cantidad\ de\ Sectores \times\ Cantidad\ de\ RadioBases$$

$$Tráfico\ Control\ (C_{EDGE}) = 8 \times 16\ kbps \times 3 \times 9$$

$$Tráfico\ Control\ (C_{EDGE}) = 3{,}456\ Mbps$$

Se calcula el tráfico total de la solución:

$$Tráfico\ Total =\ Tráfico\ Data\ (TD_{GPRS}) +\ Tráfico\ Data\ (TD_{EDGE}) + Tráfico\ Control\ (C_{EDGE})$$

$$Tráfico\ Total =\ 842{,}4\ kbps + 11{,}4\ Mbps + 3{,}456\ Mbps$$

$$Tráfico\ Total = 15{,}7\ Mbps$$

El tráfico total que llega a la PCU es de 15,7 Mbps, dato importante por las limitantes en tráfico que puede procesar este recurso.

La interfaz Gb que conecta la PCU y el SGSN no transmite el tráfico de control, pues este tráfico solo transita a través de la interfaz Abis hasta la BSC. Los E1 se requieren en la interfaz Gb puesto que es el formato de transmisión digital que transmite los datos a una tasa de 2,048 Mbps.

$$Cant\ E1\ (G_b) = \frac{TD_{GPRS} + TD_{EDGE}}{Capacidad\ por\ E1}$$

$$Cantidad\ E1\ (G_b) = \frac{842{,}4\ kbps + 11{,}4\ Mbps}{2048\ kbps}$$

$$Cantidad\ E1\ (G_b) = \frac{12{,}24\ Mbps}{2048\ kbps}$$

$$Cantidad\ E1\ (G_b) = 5{,}97\ E1$$

$$Cantidad\ E1\ (G_b) \approx 6\ E1$$

El dimensionamiento de la Base Station Controller "BSC" será con el Evo Controller 8200 del fabricante Ericsson, que cuenta con las siguientes especificaciones técnicas:

Evo Controller 8200 / BSC

No EGEM2 Subracks	No of TRXs supported	Typical power consumption [kW]
2	1050	1,4
2	2100	1,7
2	2940	2
2	4095	2,4

Tabla 10. Especificaciones técnicas del Evo Controller 8200 /BSC.
Fuente: http://www.academia.edu/32805661/Evo_Controller_8200_Product_Description

Se calcula la cantidad de BSC requeridas:

	Condiciones	Requerido	Cantidad de BSC
No de TRX	1050	189	1

Tabla 11. Cantidad de BSC requeridas. Funte: Autores.

Como resultado del dimensionamiento planteado se requiere una (1) BSC para controlar 11 BTS y esta con una (1) PCU para controlar el tráfico de datos a través de las BTSs. Cada BTS está compuesta por 3 sectores y cada sector de 7 TRX lo que conforma la red 2G con las tecnologías GPRS y EDGE.

$$Cantidad\ de\ canales = Cantidad\ de\ TRX \times Cantidad\ BTS\ de\ reuso\ \times Cantidad\ de\ sectores$$

$$Cantidad\ de\ canales = 7 \times 4\ \times 3$$

$$Cantidad\ de\ canales = 84$$

PLAN DE FRECUENCIAS 2G

En la imagen 22 se puede observar la distribución de los sectores por radio base y en la imagen 23 se observa la distribución de las frecuencias que se asignan por BTS.

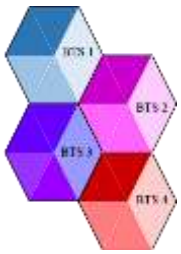


Imagen 22. Diagrama de Re-uso de Frecuencias por BTS. Fuente: Autores

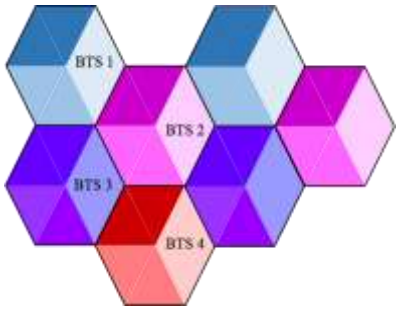


Imagen 23. Diagrama de distribución de frecuencias. Fuente: Autores

Utilizamos GSM 850 con un rango de canales $128 \leq n \leq 251$, $F(n) = 824.2 + 0.2(n - 128)$ para dar cubrimiento a la demanda.

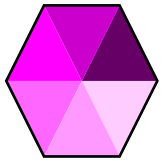
En la asignación de las frecuencias se tiene en cuenta que debe haber una separación mínima de 400 KHz entre los ARFCN de cada sector y/o no debe tener canales consecutivos un mismo sector para evitar interferencias co-canal.

A continuación, se asignan los ARFCN a los TRX de cada sector de las 9 BTS y se calculan las frecuencias de subida y bajada de acuerdo a la banda GSM850 con que se va a trabajar.



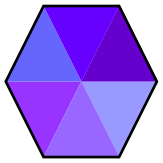
		Frecuencia Central Downlink	Frecuencia Central Uplink
Sector 1	TRX0	869,2 MHz	824,2 MHz
	TRX1	870,0 MHz	825,0 MHz
	TRX2	870,8 MHz	825,8 MHz
	TRX3	871,6 MHz	826,6 MHz
	TRX4	872,4 MHz	827,4 MHz
	TRX5	873,2 MHz	828,2 MHz
	TRX6	874,0 MHz	829,0 MHz
Sector 2	TRX0	874,8 MHz	829,8 MHz
	TRX1	875,6 MHz	830,6 MHz
	TRX2	876,4 MHz	831,4 MHz
	TRX3	877,2 MHz	832,2 MHz
	TRX4	878,0 MHz	833,0 MHz
	TRX5	878,8 MHz	833,8 MHz
	TRX6	879,6 MHz	834,6 MHz
Sector 3	TRX0	880,4 MHz	835,4 MHz
	TRX1	881,2 MHz	836,2 MHz
	TRX2	882,0 MHz	837,0 MHz
	TRX3	882,8 MHz	837,8 MHz
	TRX4	883,6 MHz	838,6 MHz
	TRX5	884,4 MHz	839,4 MHz
	TRX6	885,2 MHz	840,2 MHz

Tabla 13. Frecuencias BTS1



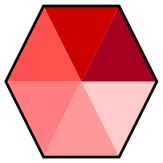
		Frecuencia Central Downlink	Frecuencia Central Uplink
Sector 1	TRX0	869,4 MHz	824,4 MHz
	TRX1	870,2 MHz	825,2 MHz
	TRX2	871,0 MHz	826,0 MHz
	TRX3	871,8 MHz	826,8 MHz
	TRX4	872,6 MHz	827,6 MHz
	TRX5	873,4 MHz	828,4 MHz
	TRX6	874,2 MHz	829,2 MHz
Sector 2	TRX0	875,0 MHz	830,0 MHz
	TRX1	875,8 MHz	830,8 MHz
	TRX2	876,6 MHz	831,6 MHz
	TRX3	877,4 MHz	832,4 MHz
	TRX4	878,2 MHz	833,2 MHz
	TRX5	879,0 MHz	834,0 MHz
	TRX6	879,8 MHz	834,8 MHz
Sector 3	TRX0	880,6 MHz	835,6 MHz
	TRX1	881,4 MHz	836,4 MHz
	TRX2	882,2 MHz	837,2 MHz
	TRX3	883,0 MHz	838,0 MHz
	TRX4	883,8 MHz	838,8 MHz
	TRX5	884,6 MHz	839,6 MHz
	TRX6	885,4 MHz	840,4 MHz

Tabla 14.Frecuencias BTS2



		Frecuencia Central Downlink	Frecuencia Central Uplink
Sector 1	TRX0	869,6 MHz	824,6 MHz
	TRX1	870,4 MHz	825,4 MHz
	TRX2	871,2 MHz	826,2 MHz
	TRX3	872,0 MHz	827,0 MHz
	TRX4	872,8 MHz	827,8 MHz
	TRX5	873,6 MHz	828,6 MHz
	TRX6	874,4 MHz	829,4 MHz
Sector 2	TRX0	875,2 MHz	830,2 MHz
	TRX1	876,0 MHz	831,0 MHz
	TRX2	876,8 MHz	831,8 MHz
	TRX3	877,6 MHz	832,6 MHz
	TRX4	878,4 MHz	833,4 MHz
	TRX5	879,2 MHz	834,2 MHz
	TRX6	880,0 MHz	835,0 MHz
Sector 3	TRX0	880,8 MHz	835,8 MHz
	TRX1	881,6 MHz	836,6 MHz
	TRX2	882,4 MHz	837,4 MHz
	TRX3	883,2 MHz	838,2 MHz
	TRX4	884,0 MHz	839,0 MHz
	TRX5	884,8 MHz	839,8 MHz
	TRX6	885,6 MHz	840,6 MHz

Tabla 15. Frecuencias BTS3



		Frecuencia Central Downlink	Frecuencia Central Uplink
Sector 1	TRX0	869,8 MHz	824,8 MHz
	TRX1	870,6 MHz	825,6 MHz
	TRX2	871,4 MHz	826,4 MHz
	TRX3	872,2 MHz	827,2 MHz
	TRX4	873,0 MHz	828,0 MHz
	TRX5	873,8 MHz	828,8 MHz
	TRX6	874,6 MHz	829,6 MHz
Sector 2	TRX0	875,4 MHz	830,4 MHz
	TRX1	876,2 MHz	831,2 MHz
	TRX2	877,0 MHz	832,0 MHz
	TRX3	877,8 MHz	832,8 MHz
	TRX4	878,6 MHz	833,6 MHz
	TRX5	879,4 MHz	834,4 MHz
	TRX6	880,2 MHz	835,2 MHz
Sector 3	TRX0	881,0 MHz	836,0 MHz
	TRX1	881,8 MHz	836,8 MHz
	TRX2	882,6 MHz	837,6 MHz
	TRX3	883,4 MHz	838,4 MHz
	TRX4	884,2 MHz	839,2 MHz
	TRX5	885,0 MHz	840,0 MHz
	TRX6	885,8 MHz	840,8 MHz

Tabla 16.Frecuencias BTS4

3.2. Tecnología 3G

Universal Mobile Telecommunications System "UMTS" es la tecnología 3G, en la cual los canales de comunicación entre la interfaz de aire y la interfaz de Core son gestionados por los nodos B, los usuarios simultáneos para esta tecnología están delimitados para voz con 35 abonados y para las conexiones de datos con 40 usuarios trabajando con tecnología HSDPA.

La cantidad de sectores se determina de acuerdo al 55% de usuarios simultáneos que fueron calculados anteriormente:

$$Cantidad\ de\ sectores = \frac{Usuarios\ 3G}{Usuarios\ voz + Usuarios\ datos}$$

$$Cantidad\ de\ sectores = \frac{1.543}{35 + 40}$$

$$Cantidad\ de\ sectores = \frac{1.543}{75}$$

$$Cantidad\ de\ sectores = 20{,}573$$

$$Cantidad\ de\ sectores \approx 21\ sectores$$

Cada sector de estos 21 sectores está compuesto por los Channel Elements "CE" que representan el recurso de los Nodos B.

- Los usuarios de voz simultáneos que se requieren soportar por sector son 35, lo que equivale a ***35 Channel Elements***, con la siguiente condición: "Un (1) Channel Element soporta Una (1) llamada".

- La transmisión de datos utilizara la Tecnología móvil HSDPA con las velocidades de 14 Mbps en el Dowlink y 7 Mbps en el Uplink. Para calcular la cantidad de CE necesarios para soportar esta tecnología debemos saber que un (1) Channel Element soporta una velocidad de transmisión de 16kbps.

Cantidad de Channel Elements en el Downlink

$$No\ Channel\ Elements\ Downlink = \frac{Velocidad\ Downlink}{Velocidad\ Channel\ Elements}$$

$$No\ Channel\ Elements\ Downlink = \frac{14\ Mbps}{16\ kbps}$$

$$No\ Channel\ Elements\ Downlink = 875\ CE$$

Cantidad de Channel Elements en el Uplink

$$No\ Channel\ Elements\ Uplink = \frac{Velocidad\ Uplink}{Velocidad\ Channel\ Elements}$$

$$No\ Channel\ Elements\ Uplink = \frac{7\ Mbps}{16\ kbps}$$

$$No\ Channel\ Elements\ Uplink = 437{,}5$$

$$No\ Channel\ Elements\ Uplink \approx 438\ CE$$

La cantidad total de Channel Elements por sector:

$$Total\ Channel\ Elements = Cantidad\ CE\ de\ voz + Cantidad\ CE\ de\ datos$$

$$Total\ Channel\ Elements = Cantidad\ CE\ de\ voz + Cantidad\ CE\ Download + Cantidad\ CE\ Uplink$$

$$Total\ Channel\ Elements = 35\ CE + 875\ CE + 438\ CE$$

$$Total\ Channel\ Elements = 1348\ CE$$

Los 27 sectores calculados anteriormente serán distribuidos en los diferentes Nodos B, que serán ubicados en la ciudad de Leticia para cubrir 1.543 usuarios. Los recursos ofrecidos por la RBS 6201 del fabricante Ericson presentan las siguientes características:

Configuration	DUW 10	DUW 20	DUW 30
Cell carriers per DUW	6	6	6
Channel Elements (Downlink/Uplink)	128/128	384/384	768/512
DL Peak Throughput (Mbps)	42	126	252
UL Peak Throughput (Mbps)	12	36	48

Tabla. 17. Capacidades RBS 6201 Ericsson
Fuente: https://lafibre.info/images/4g/201004_ericsson_rbs6201_lte1800.pdf

Con las consideraciones de la Tabla 17, la cantidad máxima de Channel Elements por sector es de 768 en el Downlik y 512 en el Uplink.

Módulo de Channel Elements en el Downlink

$$Módulos\ Channel\ Elements\ Down = \frac{Total\ Channel\ Elements\ Downlink}{Máx.Channel\ Elements}$$

$$Módulos\ Channel\ Elements\ Down = \frac{875}{768}$$

$$Módulos\ Channel\ Elements\ Down = 1{,}14$$

$$Módulos\ Channel\ Elements\ Down \approx 2$$

Módulo de Channel Elements en el Uplink

$$Módulos\ Channel\ Elements\ Up = \frac{Total\ Channel\ Elements\ Uplink}{Máx.Channel\ Elements}$$

$$Módulos\ Channel\ Elements\ Up = \frac{438}{512}$$

$$Módulos\ Channel\ Elements\ Up = \ 0{,}86$$

$$Módulos\ Channel\ Elements\ Up \approx 1$$

"De acuerdo a estos cálculos, se requieren 2 módulos de Channel Elements para dar cubrimiento por sector a los 35 usuarios de voz y los 40 usuarios de datos."

Como criterio de diseño se utilizarán 3 sectores en cada nodo B, a continuación se realizará el cálculo de la cantidad total de Node B que se requieren:

$$Cant\ de\ Nodos\ B = \frac{Cantidad\ de\ usuarios\ 3G}{No.\ de\ sectores\ por\ NodoB * Usuarios\ por\ sector}$$

$$Cant\ de\ Nodos\ B = \frac{1.543\ usuarios}{3\ sectores * 75\ usuarios}$$

$$Cant\ de\ Nodos\ B = 6{,}99$$

$$Cant\ de\ Nodos\ B\ \approx 7$$

Para dar cubrimiento a 1.543 usuarios simultáneos se requiere de la instalación de 7 Nodos B, dado que los recursos de la infraestructura dimensionada anteriormente para la Tecnología móvil 2G se instalarán 9 BTS, se utilizará la misma infraestructura para instalar 7 Nodos B, los cuales serán distribuidos de acuerdo a los sitios donde hay mayor concentración de usuarios en la ciudad.

El volumen de información que se transporta a través de las redes se conoce como "Througput" en este caso vamos a calcular el Througput por Celda que se conoce como el tráfico que transporta la interfaz Iub. Para realizar dicho cálculo se debe considerar el tráfico de voz y el tráfico de datos.

Tráfico por voz

$$Tráfico\ de\ voz = Usuarios\ simultaneos\ por\ voz\ \times 16kbps$$

$$Tráfico\ de\ voz = 35\ usuarios\ \times 16kbps$$

$$Tráfico\ de\ voz = 560\ kbps$$

Tráfico de datos

Teniendo en cuenta que la tecnología que se va a soportar es HSDPA, con una velocidad de 14 Mbps en Downlink, el tráfico total por sector es igual:

$$Tráfico\ Total\ por\ sector = Tráfico\ de\ voz + Tráfico\ de\ datos$$

$$Tráfico\ Total\ por\ sector = 0{,}56\ Mbps + 14\ Mbps$$

$$Tráfico\ Total\ por\ sector = 14{,}56\ Mbps$$

La razón de que se realice este cálculo sólo con el tráfico de descarga es debido a que los enlaces entre los nodos son por fibra óptica, y por las características de este medio de transmisión son enlaces simétricos, por lo tanto, se considera el mayor flujo de tráfico para establecer el ancho de banda de cada canal.

El tráfico total generado por cada sector es de 14,56 Mbps, por consiguiente, se calcula el tráfico que transita a través de la Interfaz Iub.

$$Tráfico\ Iub = Tráfico\ Total\ por\ sector\ \times Cantidad\ de\ sectores$$

$$Tráfico\ Iub = 14{,}56\ Mbps\ \times 3\ sectores$$

$$Tráfico\ Iub = 43{,}68\ Mbps$$

El tráfico total generado por cada nodo es de 43,68 Mbps, por consiguiente, se calcula el tráfico que debe procesar la RNC.

$$Tráfico\ RNC = Tráfico\ IuB\ \times Cantidad\ de\ node\ B$$

$$Tráfico\ RNC = 43{,}68\ Mbps\ \times 7\ nodos$$

$$Tráfico\ RNC = 305{,}76\ Mbps$$

El dimensionamiento de la RNC se realiza con base en las características del Evo Controller 8200 del fabricante Ericsson, anteriormente esta referencia se trabajó con la tecnología 2G dado que una de las condiciones más importantes es que integra la BSC y la RNC.

Evo Controller 8200 / RNC

No EGEM2 Subracks	Iub Throughput [Gbps]	Typical power consumption [kW]
1	1	0,8
1	2	1,1
1	4	1,4
1	6	2
2	8	2,7
2	12	3,6
3	16	4,7
3	20	5,7

Tabla 18. Especificaciones técnicas del Evo Controller 8200 /RNC.
Fuente: http://www.academia.edu/32805661/Evo_Controller_8200_Product_Description

Calculamos la cantidad de RNC requeridas:

	Condiciones	Requerido	Cantidad de RNC
Tráfico	1 Gbps	305,76 Mbps	1

Tabla 19. Cantidad de RNC requeridas. Fuente: Autores.

Como resultado del dimensionamiento planteado se requiere una (1) RNC para controlar 7 Nodos B y cubrir el Throughput total (1 Subracks). Cada Nodo B está compuesto por 3 sectores y cada sector de 1.348 CE lo que conforma la red 3G con las tecnologías HSDPA.

Como se expuso anteriormente, los enlaces satelitales son asimétricos, por lo tanto, se realizará el cálculo del tráfico total en Uplink para ser considerado en el diseño del enlace satelital.

- Tráfico total por sector

$$Tráfico\ Uplink\ por\ Sector = Tráfico\ de\ voz + Tráfico\ de\ datos$$

$$Tráfico\ Uplink\ por\ Sector = 0{,}56\ Mbps + 7\ Mbps$$

$$Tráfico\ Uplink\ por\ Sector = 7{,}56\ Mbps$$

- Tráfico total por nodo

$$Tráfico\ Uplink\ por\ Node\ B = Tráfico\ Total\ por\ sector\ \times Cantidad\ de\ sectores$$

$$Tráfico\ Uplink\ por\ Node\ B = 7{,}56\ Mbps\ \times 3\ sectores$$

$$Tráfico\ Uplink\ por\ Node\ B = 22{,}68\ Mbps$$

- Tráfico total del Uplink

$$Tráfico\ Total\ Uplink = Tráfico\ por\ Node\ B\ \times Cantidad\ de\ node\ B$$

$$Tráfico\ Total\ Uplink = 22{,}68\ Mbps\ \times 7\ nodos$$

$$Tráfico\ Total\ Uplink = 158.76\ Mbps$$

3.3. Simulación de las tecnologías móviles 2G y 3G

Una vez definida la cantidad de BTS y Nodos B, se procede a realizar la simulación en Xirio, para ello se ubican las 9 Radiobases alrededor de la ciudad de Leticia, cada una de ellas con 3 sectores para la Tecnología móvil 2G y 7 Radiobases con 3 sectores para la Tecnología móvil 3G. Durante la configuración se selecciona el método de cálculo Cost 231. "*Método semi -empírico válido en la gama 800 a 2000 MHz. Recomendado para servicios de móviles y de acceso de banda ancha en entornos rurales y urbanos*". En la imagen 24 se puede observar la ubicación de las radio bases de las tecnologías 2G y 3G.

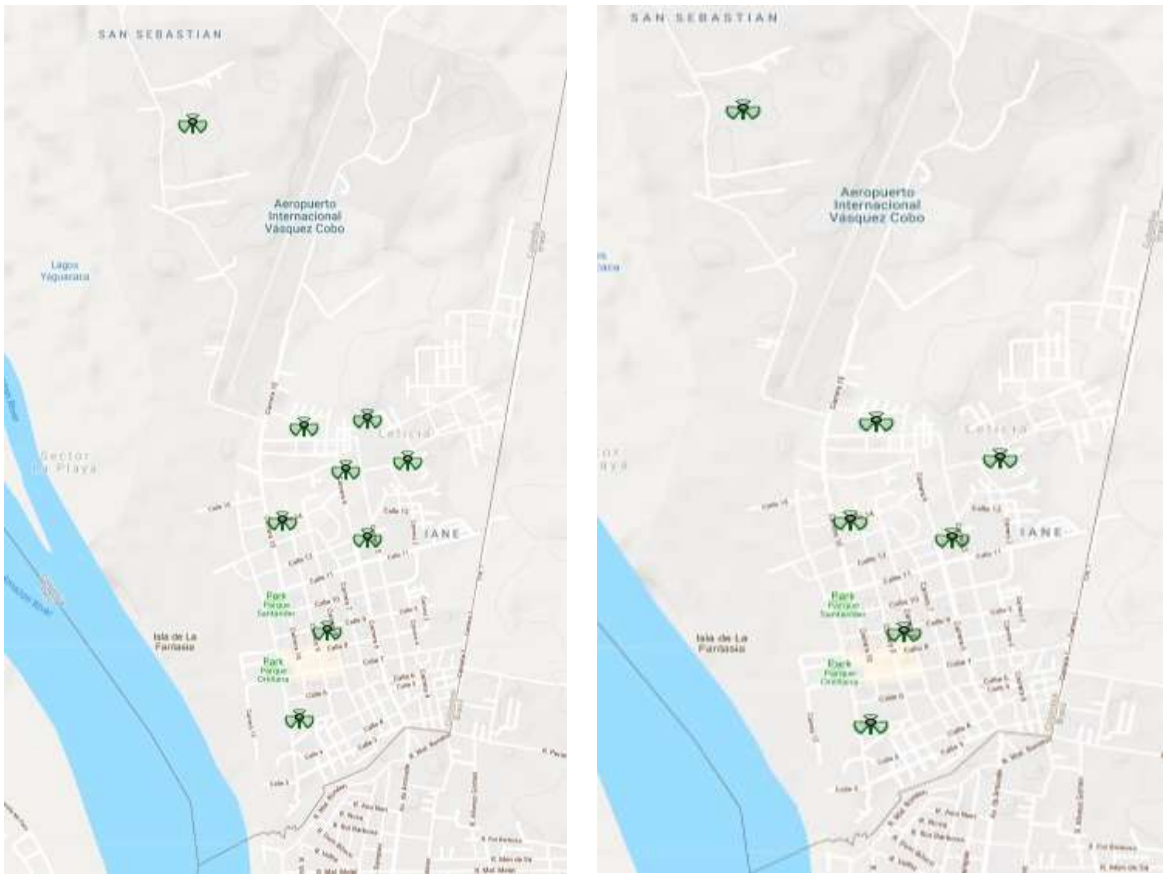


Imagen 24. Ubicación de Radiobases en la ciudad de Leticia.
Derecha a Izquierda: Tecnología móvil GPRS-EDGE, Tecnología móvil HSDPA

Durante el desarrollo de la simulación se asigna el siguiente rango para la señal:

Color	Rango	Descripción		Color	Rango	Descripción	
	[-100.00 , -90.00) dBm				[-105.00 , -95.00) dBm		
	[-90.00 , -80.00) dBm				[-95.00 , -85.00) dBm		
	[-80.00 , Infinity) dBm				[-85.00 , Infinity) dBm		

Imagen 25. Asignación de rangos de señal.
Derecha a Izquierda: Tecnología móvil GPRS-EDGE, Tecnología móvil HSDPA

Para efectos de la visualización de la radiación de las radiobases se suprimen las señales del Rango en 2G [-100.00 , -90.00) dBm y del Rango [-90.00 , -80.00) dBm y en 3G [-105.00 , -95.00) dBm y del Rango [-95.00 , -85.00) dBm , permitiendo observar sólo la mejor señal por las radiobases. En la imagen 26 se observa la cobertura que tendrían ambas tecnologías de acuerdo a la simulación realizada con Xirio.



Imagen 26. Ubicación de Radiobases con su respectiva radiación en la ciudad de Leticia. Derecha a Izquierda: Tecnología móvil GPRS-EDGE, Tecnología móvil HSDPA

3.4. Topología física de la red móvil 2G y 3G

A continuación, se presenta la conexión de la red de telecomunicaciones para las tecnologías móviles 2G y 3G, en donde el tráfico hacia el Core se transmite a través del backhaul satelital.

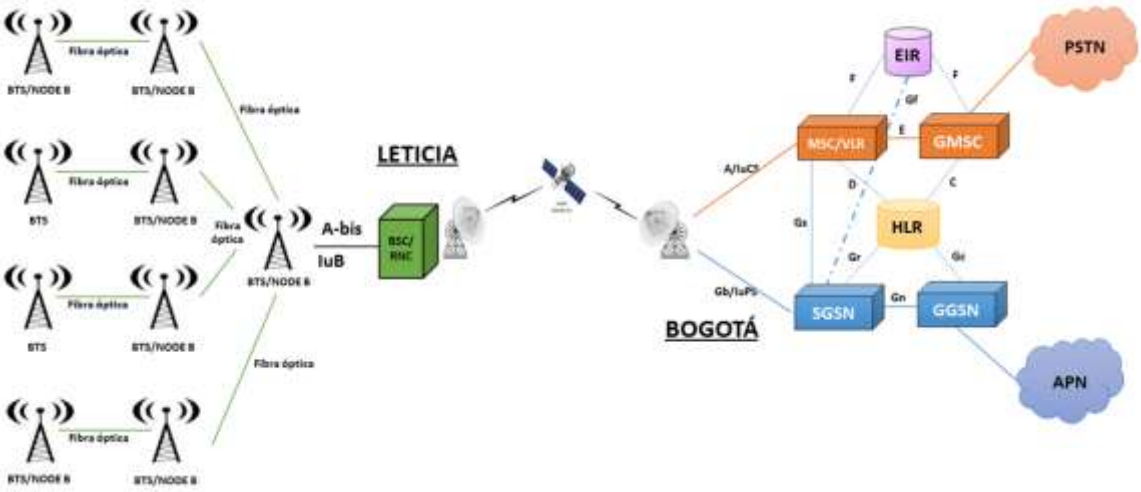


Imagen 27. Diagrama de tráfico para 2G y 3G. Autores.

DISEÑO ENLACE PUNTO A PUNTO BACKHAUL SATELITAL

El tráfico de todas las radios bases (2G y 3G) es reunido en un punto para ser enviado a través del enlace satelital hacia Bogotá y ser procesado en el Core de Datos y/o de Voz del operador móvil.

Debido a que los enlaces satelitales son asimétricos, se suma el tráfico de Downstream y el tráfico de Upstream de ambas tecnologías para determinar el ancho de banda requerido para el diseño del enlace ascendente y descendente de la estación terrena.

$$Tráfico\ Enlace\ Descendente = Tráfico\ Descarga\ 2G + Tráfico\ Descarga\ 3G$$
$$Tráfico\ Enlace\ Descendente = 15{,}7\ Mbps + 305{,}76\ Mbps\ 3G$$
$$Tráfico\ Enlace\ Descendente = 321{,}46\ Mbps$$

$$Tráfico\ Enlace\ Ascendente = Tráfico\ Carga\ 2G + Tráfico\ Carga\ 3G$$
$$Tráfico\ Enlace\ Ascendente = 15{,}7\ Mbps + 158{,}76\ Mbps\ 3G$$
$$Tráfico\ Enlace\ Ascendente = 174{,}46\ Mbps$$

Se debe tener en cuenta que el tráfico de descarga desde la estación remota en Leticia es el tráfico de carga de la estación remota en Bogotá, y el tráfico de carga en Leticia es el tráfico de Descarga en Bogotá, esta consideración es muy importante para determinar el tamaño de las antenas y la potencia del transmisor en cada extremo.

Se realizó un estudio de los diferentes proveedores de equipamiento de red satelital y se determinó trabajar con el Módem IP satelital MDM6000 del proveedor Newtec, esto debido a que fue diseñado entre otras cosas para operar en aplicaciones de backhaul celular, soporta alta capacidad de transferencia de datos, puede funcionar como modulador, demodulador o ambos (módem), posee control automático de potencia ascendente (AUPC), soporta códigos de modulación y corrección de error hacia adelante desde QPSK hasta 256 APSK ¾ con el estándar DVB-S2X y 32APSK 9/10 con el estándar DVB-S2, maneja roll-off entre 5% y 35%, se integra perfectamente con equipos y redes terrestres.



Imagen 28. Modem MDM6000.
Fuente: https://www.newtec.eu/product/mdm6000-satellite-modem

La capacidad del módem está determinada por la licencia que se adquiera, alcanzando velocidades de hasta 425 Mbps. A la salida del módem satelital la señal está dada en frecuencia intermedia IF o banda L de 950 MHz a 2150 MHz.

4.1.Puntos por enlazar

En la siguiente figura se puede observar las coordenadas del sitio donde estará ubicada la estación terrena de Leticia:

Latitud: 4°13'16.50"S
Longitud: 69°56'18.52"W



Imagen 29. Coordenadas en Leticia, Amazona

El otro extremo del enlace estará en la ciudad de Bogotá, es la capital de la República de Colombia, a una altitud de 2630 metros sobre el nivel del mar, ubicada sobre la cordillera oriental, con frecuentes y leves lluvias durante el año. En la siguiente se puede observar las coordenadas del sitio donde estará ubicada la estación terrena de Bogotá:

Latitud: 4°40'16.32"N
Longitud: 74°09'41.01"W



Imagen 30. Coordenadas en Bogotá, Colombia.

4.2.Segmento espacial

El vehículo espacial escogido para realizar el diseño del enlace es INTELSAT 907 - 335.2° debido a que su huella cubre los dos puntos extremos de nuestro enlace. El satélite IS907 está ubicado sobre la órbita geoestacionaria y situado sobre la región del atlántico (Imagen 33). Dispone de 76 transpondedores en Banda C y 24 transpondedores en Banda Ku.



Imagen 31. Ubicación del Satélite Intelsat 907 a 332,5° E

En la siguiente figura se observa las diferentes huellas de cobertura con las cuales el spot 1 que opera con frecuencias en banda Ku del satélite INTELSAT 907 cubre la superficie terrestre, se puede observar que cubre el área de Leticia y Bogotá, por lo tanto puede unir ambos puntos a través de sus transpondedores.



Imagen 32. Cobertura (Haces) del satélite Intelsat IS907 a 332.5° E en Banda Ku - Spot 1.
Fuente: http://www.intelsat.com/fleetmaps/?s=IS-907

De acuerdo a la ubicación de las estaciones terrenas, la potencia isotrópica radiada efectiva desde el satélite tendrá cierta variación debido a que en ciertos puntos de la huella tendrá mayor concentración de la energía que en otros, lo que se conoce como ventaja geográfica (β), es la diferencia entre la PIRE del satélite en el borde del haz y la PIRE en el punto de la estación terrena, el factor β debe tenerse en cuenta en ambos extremos del enlace para el cálculo del enlace descendente y el enlace ascendente.

En la siguiente imagen tomada del manual técnico del satélite IS907 de Intelsat, se puede observar la variación de la PIRE de saturación del satélite de acuerdo a la ventaja geográfica, con esta gráfica se deduce los valores de β.

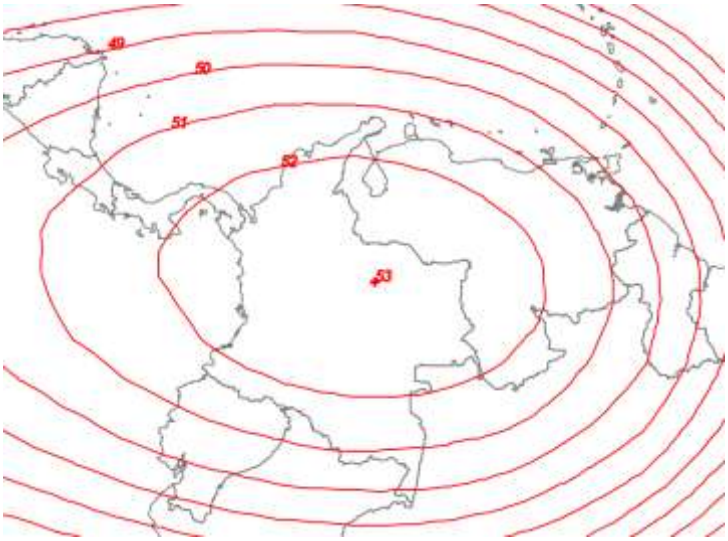


Imagen 33. PIRE de saturación Huella Spot 1 IS907 banda Ku.
Fuente: Technical Handbook for the Intelsat 907 Spacecraft In-Service. Marzo 2007.

El proveedor INTELSAT en su página web provee los parámetros de cada uno de sus satélites en órbita, para los cálculos del diseño del enlace se requieren los datos correspondientes al satélite IS907.

Ku-band Key Parameters		
Total Transponders		22 (in equivalent 36 MHz Units)
Polarization		Linear - Horizontal or Vertical
Downlink Frequency		10,95 to 11,70 GHz
Typical Edge of Coverage e.i.r.p		> 47,0 dBW
Uplink Frequency		14,00 to 14,50 GHz
Beam Peak G/T	**Spot 1**	Up to 7,5 dB/K
	Spot 2	Up to 9,3 dB/K
SFD Range at Reference Contour		-87,0 to -69,0 dBW/m2 (0,0 dB/K)

Tabla 20. Parámetros del Satélite Intelsat 907 a 332.5° E. en Banda Ku.

4.3.Transpondedor empleado

La configuración operacional del satélite se relaciona con diferentes haces, lo que permite realizar interconexiones entre los puntos a enlazar por medio de los transpondedores. En la tabla 21 se

observa la numeración correspondiente, la frecuencia central (MHz) y la polarización que utiliza cada Spot.

Downlink			Uplink (Transponer Identifier)				Center Frequency (MHz)	
Channel	Coverage		Ku-Band		C-Band		Satellite Receive (Uplink)	Satellite Transmit (Downlink)
			S1	S2	WH, EH	NWZ, NEZ, SWZ, SEZ, MWZ, CWZ		
			H	V	LHCP	RHCP		
1-2	S1(61)	S2(71)	61	71	11, 21	41, 51, 91, 101, 121, 91C	14042,5 or 5970	10992,5
3-4	S1(62)	S2(72)	62	72	12, 22	42, 52, 92, 102, 122, 92C	14125 or 6050	11075
5-6	S1(63)	S2(73)	63	73	13, 23	43, 53, 93, 103, 123, 93C	14205 or 6130	11155
7-8	S1(64)	S2(74)	64	74	14,24	44, 54, 94, 104, 124, 94C	14295 or 6220	11495
9	S1(65)	S2(75)	65	75			14355	11555
10	S1(66)	S2(76)	66	76			14395	11595
11	S1(67)	S2(77)	67	77			14435	11635
12	S1(68)	S2(78)	68	78			14475	11675

Tabla 21. Numeración de transpondedores satélite Intelsat serie IX - (14/11 GHz Transponders, IOR, AOR & Generic).

Nota 1: Los Spot beams de 14/11 GHz están polarizados de forma lineal, con una orientación vertical u horizontal con referencias al sistema de las coordenadas del vehículo espacial. La orientación vertical es paralela al eje de cabeceo de la nave espacial (Norte-Sur) y la orientación horizontal paralela al eje de balanceo de la nave espacial (Este - Oeste). Debido al estrecho ancho de haz que tiene en banda Ku, se espera que la polarización en la recepción de la estación terrena coincida con la nave espacial, la polarización de transmisión de la estación terrena será aproximadamente ortogonal a ella y por lo tanto cerca de su alineación óptima, como se observa en la tabla X.

		Linear Polarization	
Satellite	Coverage	Earth Station Transmit	Earth Station Receive
VA and VI	East Spot West Spot	Horizontal Vertical	Vertical Horizontal
VII	Spot 1 & Sport 3 (2) Spot 2	Horizontal Vertical	Vertical Horizontal
VIIA	S1, S2X, &S3 (2) S1X, S2	Vertical Horizontal	Horizontal Vertical
VIII and IX	Spot 1 Spot 2	Horizontal Vertical	Vertical Horizontal
VIIIA (805)	Spot 1	Horizontal	Vertical

Tabla 22. Polarización del satélite IX en Spot 1.

Se determinó trabajar en banda Ku debido a que ofrece mayor capacidad de transferencia de datos que la banda C, al trabajar con frecuencias más altas requiere antenas más pequeñas y por consiguiente menor costo de equipamiento, aunque las frecuencias altas son más susceptibles a desvanecimiento por las condiciones climáticas, un buen diseño del enlace y el empleo de ACM (Codificación y Modulación Adaptativa) lo mantendrá operativo permitiendo que las estaciones terrestres alcancen el máximo rendimiento, maximizando así la eficiencia y la disponibilidad de la red.

El satélite INTELSAT 907 en banda Ku posee 2 transpondedores de 77 MHz con 8 MHz de bandas de guarda, 6 transpondedores de 72 MHz con 8 MHz de bandas de guarda y 8 transpondedores de

36 MHz con 4 MHz de bandas de guarda. Su polarización es lineal con orientación Horizontal y Vertical.

Desde el satélite la transmisión del spot 1 se realiza con polaridad lineal vertical y la recepción en polaridad lineal horizontal, desde el punto de vista de la estación terrena en el spot 1 transmite con polaridad lineal horizontal y recibe con polaridad lineal vertical.

Con el fin de hacer reuso de la frecuencia, el spot 2 transmite y recibe en las mismas frecuencias y transpondedores del Spot 1 pero con polaridades contrarias.

En la imagen 30 se detalla las frecuencias de operación de cada transpondedor y de las bandas de guarda, los anchos de banda de cada uno y la polarización en que transmite y recibe cada spot.

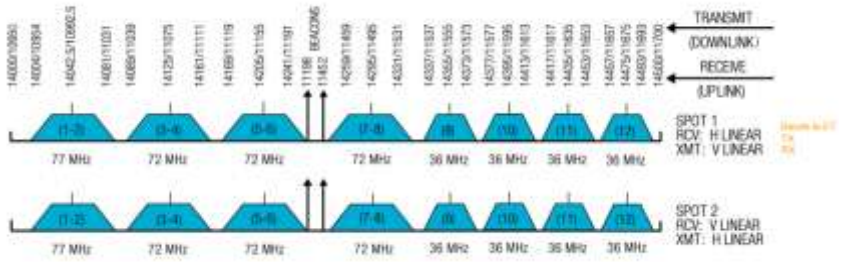


Imagen 34. Transpondedores Intelsat 907 en Banda Ku.

En el IESS-410 de las definiciones de los transpondedores y las condiciones de operaciones asociadas al segmento espacial arrendado por Intelsat, se obtuvo el valor de "X" para el cálculo de la interferencia cocanal en dB. En la siguiente tabla se muestra el valor correspondiente para un satélite de la serie IX para las huellas del enlace descendente y ascendente de los puntos a enlazar:

Conexión de haces		Valor de X en dB						
Enl. Asc.	**Enl. Desc.**	**V-A**	**VI**	**VII**	**VII-A**	**VIII**	**VII-A**	**IX**
Global	Global	23,0	23,0	23,0	23,0	24,0	-	23,5
Global	Pincel C	22,0	-	21,0	21,0	-	-	-
Global	Hemi	-	-	20,0	20,0	22,0	-	-
Pincel C	Pincel C	-	-	20,0	20,0	-	-	-
Pincel C	Global	-	-	22,0	22,0	-	-	-
Pincel C	Hemi	-	-	19,0	19,0	-	-	-
Hemi	Hemi (can. 1'-2')					23,0	-	-
Hemi	Hemi	19,0	17,0	17,0	17,0	18,5	21,0	18,0
Hemi	Global	-	-	19,0	19,0	19,5	-	-
Hemi	Pincel Ku	22,0	20,0	20,0	18,5	20,0	24,0	19,5
Hemi	Pincel C	19,0	-	18,0	18,0	-	-	-
Hemi	Zona	19,0	17,0	18,0	18,0	18,5	-	18,0
Zona	Hemi	19,0	17,0	18,0	18,0	20,0	-	19,5
Zona	Zona	19,0	17,0	19,0	19,0	20,0	-	19,5
Zona	Pincel Ku	22,0	20,0	21,0	20,0	22,5	-	21,0
Pincel Ku	Pincel Ku	30	30	27	20,5	29	-	27
Pincel Ku	Hemi	22,0	20,0	20,0	19,0	22,5	23,5	24,0
Pincel Ku	Zona	22,0	20,0	21,0	19,5	22,5	-	24,0
Pincel Ku	Global	-	-	-	24,0	25,5	-	-
Pincel Ku	Pincel C	-	-	-	22,5	-	-	-
Global	Pincel Ku	-	-	-	-	25,5	-	-

Tabla 23. Relación portadora a interferencia cocanal Intelsat serie IX. Fuente: IESS-410

En la siguiente tabla se consolidaron todos los parámetros requeridos del segmento espacial IS-907 en banda Ku, la información fue extraída de los IESS-422, IESS-410.

Parámetro	Bogotá	Leticia
PIRE de Saturación del Transpondedor	47 dBW	47 dBW
Ancho de Banda	77 MHz	77 MHz
Densidad de Flujo de Saturación (SFD)	-69 dBW/m2	-69 dBW/m2
G/T del sistema de Recepción	6.5 dB/K	2.5 dB/K
Relación Portadora a Interferencia Co-Canal	27 dB	27 dB
Intermodulación del Transponder	-24 dBW/ 4 kHz	-24 dBW/ 4 kHz
Relación de Ganancia de Potencia de Compresión	2 dB	2 dB

Tabla 24. Parámetros del segmento espacial.

4.4.Parámetros del segmento terrestre

Basado en el estándar para estaciones terrenas desarrollado por Intelsat, el IESS-101E se especifica que el estándar C (IESS-208E) aplica para servicios internacionales que operan en las bandas 14/11 GHz y/o 14/12 GHz con un G/T nominal de 37dB/K, según se muestra en la siguiente tabla:

Standard	G/T Requirement
C	$\geq 37{,}0 + 20\log\left(f/_{11{,}2}\right)\ dB/K$
E-3	$\geq 34{,}0 + 20\log\left(f/_{11{,}0}\right)\ dB/K$
E-2	$\geq 29{,}0\ (but < 34{,}0) + 20\log\left(f/_{11{,}0}\right)\ dB/K$
E-1	$\geq 25{,}0\ (but < 29{,}0) + 20\log\left(f/_{11{,}0}\right)\ dB/K$
K-3	$\geq 23{,}3 + 20\log\left(f/_{11{,}0}\right)\ dB/K$
K-2	$\geq 19{,}8 + 20\log\left(f/_{11{,}0}\right)\ dB/K$

Tabla 25. G/T estándar de estación terrena según IESS-208E.

En la siguiente tabla se especifica el rango de frecuencias de transmisión y recepción en banda Ku de las estaciones terrenas de las series VA a la IX de los satélites de Intelsat, definido en el estándar IESS-208.

Satélite	Región UIT	Frecuencia de transmisión de la estación terrena (GHz)	Frecuencia de recepción de la estación terrena (GHz)
VA, VI, IX	Todas	14,00 - 14,50	10,95 - 11,20 11,45 - 11,70
VII, VIIA, VIII	Todas	14,00 - 14,50	10,95 - 11,20 11,45 - 11,70
	2 (2)(3) 1 y 3 (2)	14,00 - 14,25 (4) 14,00 - 14,25 (4)	11,70 - 11,95 12,50 - 12,75
VIIIA	2 1y3	14,00 - 14,25 14,00 - 14,25	11,70 - 11,95 12,50 - 12,75

Tabla 26. Frecuencias de Operación según IESS-208E.

En las normas de las estaciones terrenas de Intelsat IESS-601 se especifica la densidad máxima de flujo de potencia (PFD) en la superficie terrestre del enlace descendente en banda Ku, dado de dBW/m2 de sus satélites de la serie VA a la IX, en la siguiente tabla se identifica los valores de PFD de los satélites de la serie IX de nuestro interés:

Satellite	Downlink Spot Beams	Typical PFD Per Transponder	Maximum Total PFD
VA	11 GHz	-118,7	-112,3
VI	11 GHz	-118,3	-110,4
VII	11 GHz	-115,4	-107,4
	12 GHz	-115,4	-109,1
VIIA	11 GHz	-112,6	-106,2
	12 GHz	-113,6	-108,8
VIII	11 GHz	-113,5	-106,2
	12 GHz	-113,5	-108,7
VIIIA	12 GHz	-117,1	-108,9
IX	11 GHz	-115,6	-104,6

Tabla 27. Máxima densidad de flujo de potencia en dBW/m2 para enlace de bajada en banda Ku. Fuente: Normas de las estaciones terrenas de Intelsat (IESS), documento IESS-601 (Rev. 11). Octubre de 2002.

En la imagen 35 se especifica la intensidad máxima permitida de potencia isotrópica radiada efectiva en banda C y banda Ku para diferentes diámetros de antenas, definido en el IESS-601.

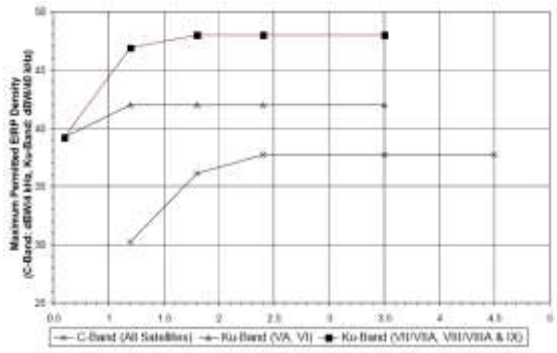


Imagen 35. PIRE Máxima permitida VS Diámetro de las antenas.
Fuente: Normas de las estaciones terrenas de Intelsat (IESS), documento IESS-601 (Rev. 11). Octubre de 2002.

En la siguiente tabla se consolidaron todos los parámetros requeridos del segmento terrestre en ambos extremos:

Característica	Bogotá	Leticia
Latitud	4.6712°	-4.215°
Longitud	-74.161392°	-69.941111°
Altura sobre el nivel del mar	2640 m	96 m
Diámetro de la Antena	11 m	7,6 m
Ganancia de la Antena	62,32 dB +/- 0,2 dB	59,0 dBi +/- 0,2 dB
G/T del sistema	37.97 dB/K	35.3 dB/K
B	5dB	2dB
Rastreo	Automático	Automático

Tabla 28. Características de las estaciones terrenas
Fuente: http://www.diomar.pl/pdf/ESA76_ASC_Signal_(ANDREW)_7_6m_antenna.pdf
https://spanish.alibaba.com/product-detail/11m-big-motorized-cassegrain-satellite-antenna-1756855889.html

4.5. Energía por Bit a Densidad de ruido

De acuerdo al estándar de transmisión seleccionado, en este caso el DVB-S2, la señal recibida en el receptor debe tener la calidad adecuada para poder ser decodificada, el parámetro que permite

realizar esta comparación es el Eb/N0, si está por encima del umbral se garantiza un margen que asegura una correcta transmisión de los datos y una cantidad de errores aceptables en la recepción.

Si la señal en el receptor está por encima del umbral C/(N+I), la técnica FEC adoptada en el sistema proporcionará una calidad de señal "Quasi-Error-Free" (QEF), o casi libre de error. Para el estándar DVB-S2 el QEF corresponde aproximadamente a una relación de tasa de paquete de error (PER) de transmisión PER<10-7 antes del demultiplexor.

En la siguiente tabla tomada del ETSI EN 302 307 V1.2.1 puede verse el Es/No requerido para distintos MODCOD soportados por el estándar de transmisión DVB-S2 con su equivalente eficiencia espectral, valores que serán tenidos en cuenta para realizar el cálculo del Eb/No en cada extremo del enlace:

Mode	Spectral efficiency	Ideal E_S/N_O (dB) for FECFRAME length = 64800
QPSK 1/4	0,490243	-2,35
QPSK 1/3	0,656448	-1,24
QPSK 2/5	0,789412	-0,30
QPSK 1/2	0,988858	1,00
QPSK 3/5	1,188304	2,23
QPSK 2/3	1,322253	3,10
QPSK 3/4	1,487473	4,03
QPSK 4/5	1,587196	4,68
QPSK 5/6	1,654663	5,18
QPSK 8/9	1,766451	6,20
QPSK 9/10	1,788612	6,42
8PSK 3/5	1,779991	5,50
8PSK 2/3	1,980636	6,62
8PSK 3/4	2,228124	7,91
8PSK 5/6	2,478562	9,35
8PSK 8/9	2,646012	10,69
8PSK 9/10	2,679207	10,98
16APSK 2/3	2,637201	8,97
16APSK 3/4	2,966728	10,21
16APSK 4/5	3,165623	11,03
16APSK 5/6	**3,300184**	**11,61**
16APSK 8/9	3,523143	12,89
16APSK 9/10	3,567342	13,13
32APSK 3/4	3,703295	12,73
32APSK 4/5	3,951571	13,64
32APSK 5/6	4,119540	14,28
32APSK 8/9	4,397854	15,69
32APSK 9/10	**4,453027**	**16,05**
NOTE: Given the system spectral efficiency η_{tot} the ratio between the energy per information bit and single sided noise power spectral density $E_b/N_0 = E_s/N_0 - 10\log_{10}(\eta_{tot})$.		

Tabla 29. Relación Es/No Vs Eficiencia Espectral Vs MODCOD en estándar DVB-S2.
Fuente: https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302300_302399/302307/01.02.01_60/en_302307v010201p.pdf

4.6. Ángulos de Vista y Distancia Oblicua

- **Ángulos de Azimut y Elevación**

Para hacer los cálculos de los ángulos para el apuntamiento de las antenas hacia el satélite IS907, se debe tener en cuenta la posición orbital del satélite, el cual está ubicado a 27.5º y la ubicación geográfica (Latitud y Longitud) de las ciudades donde se van a instalar las estaciones terrenas: Leticia y Bogotá.

- **Leticia**

Datos	Leticia
θ_S	27.5º W
θ_l	4º S
θ_L	69 º W

Tabla 30. Valores de latitud y longitud Leticia. Fuente: Autores.

Determinación del Ángulo de Elevación

$$E = Arc\ tan\left(\frac{(r - R_e \cos\theta_l\ cos|\theta_S - \theta_L|)}{R_e\ sen\ [Arc\cos(\cos\theta_l\ cos|\theta_S - \theta_L|)]}\right) - Arc\cos(\cos\theta_l\ cos|\theta_S - \theta_L|)$$

Donde,

$R_e, es\ el\ radio\ de\ la\ tierra\ R_e = 6378\ Km$

$$E = Arc\ tan\left(\frac{(r - R_e \cos\theta_l\ cos|\theta_S - \theta_L|)}{R_e\ sen\ [Arc\cos(\cos\theta_l\ cos|\theta_S - \theta_L|)]}\right) - Arc\cos(\cos\theta_l\ cos|\theta_S - \theta_L|)$$

$$E = Arc\ tan\left(\frac{(42172 - 6378\cos(4)\ cos|27.5 - 69|)}{6378\ sen\ [Arc\cos(\cos(4)\ cos|25.7 - 69|)]}\right) - Arc\cos(\cos(4)\ cos|25.7 - 74|)$$

$$E = Arc\ tan\left(\frac{(42172 - 6378 * 0.7471)}{6378\ sen\ [Arc\cos(0.7471)]}\right) - Arc\cos\ (0.7471)$$

$$E = Arc\ tan\left(\frac{(42172 - 6378 * 0.7471)}{6378\ sen\ [41.65]}\right) - 41.65$$

$$E = Arc\ tan\left(\frac{(42172 - 4765.003)}{4239.30}\right) - 41.65$$

$$E = 83.53 - 41.65$$

$$E = 41.88º$$

Determinación del Ángulo de Azimut

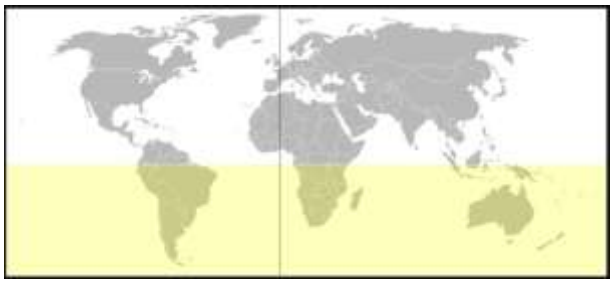


Imagen 36. Ubicación geográfica Leticia
Fuente: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b1/Hemisferio_Sur.png

Teniendo en cuenta que la ciudad de Leticia se encuentra ubicada en el hemisferio sur – Oeste, se tiene que el ángulo de azimut se halla mediante la ecuación:

$$A = A'$$

Donde,
A, es el ángulo de azimut y se expresa en grados
A', es un ángulo auxiliar para el cálculo del ángulo de azimut y se halla mediante la expresión:

$$A' = Arc\ tan\left(\frac{\tan|\theta_S - \theta_L|}{sen\ \theta_l}\right)$$

$$A' = Arc\ tan\left(\frac{\tan|27.5 - 69|}{sen\ (-4)}\right)$$

$$A' = Arc\ tan\left(\frac{\tan|27.5 - 74|}{sen\ (4)}\right)$$

$$A' = Arc\ tan\left(\frac{0.8847}{0.0697}\right)$$

$$A' = Arc\ tan(12.6830)$$

$$A' = 85.49°$$

Teniendo A', se procede a calcular el ángulo de azimut,

$$A = A'$$
$$A = 85.49°$$

Teniendo en cuenta los cálculos realizados la antena de la estación terrena en Leticia debe estar orientada a 85.49º de azimut y con una elevación de 36.55º.

- **Bogotá**

Datos	Bogotá
θ_S	27.5º W
θ_l	4º N
θ_L	74º W

Tabla 31. Valores de latitud y longitud Bogotá. Fuente: Autores.

Determinación del Ángulo de Elevación

$$E = Arc\ tan\left(\frac{(r - R_e \cos\theta_l\ cos|\theta_S - \theta_L|)}{R_e\ sen\ [Arc\cos(\cos\theta_l\ cos|\theta_S - \theta_L|)]}\right) - Arc\cos(\cos\theta_l\ cos|\theta_S - \theta_L|)$$

Donde,
$R_e, es\ el\ radio\ de\ la\ tierra\ R_e = 6378\ Km$

$$E = Arc\ tan\left(\frac{(r - R_e \cos\theta_l\ cos|\theta_S - \theta_L|)}{R_e\ sen\ [Arc\cos(\cos\theta_l\ cos|\theta_S - \theta_L|)]}\right) - Arc\cos(\cos\theta_l\ cos|\theta_S - \theta_L|)$$

$$E = Arc\ tan\left(\frac{(42172 - 6378\cos 4\ cos|27.5 - 74|)}{6378\ sen\ [Arc\cos(\cos 4\ cos|25.7 - 74|)]}\right) - Arc\cos(\cos 4\ cos|25.7 - 74|)$$

$$E = Arc\ tan\left(\frac{(42172 - 6378 * 0.686)}{6378\ sen\ [Arc\cos(0.686)]}\right) - Arc\cos\ (0.686)$$

$$E = Arc\ tan\left(\frac{(42172 - 6378 * 0.53)}{6378\ sen\ [46.63]}\right) - 46.63$$

$$E = Arc\ tan\left(\frac{(42172 - 3380.34)}{4636.563}\right) - 46.63$$

$$E = 83.18 - 46.63$$

$$E = 36.55º$$

Determinación del Ángulo de Azimut

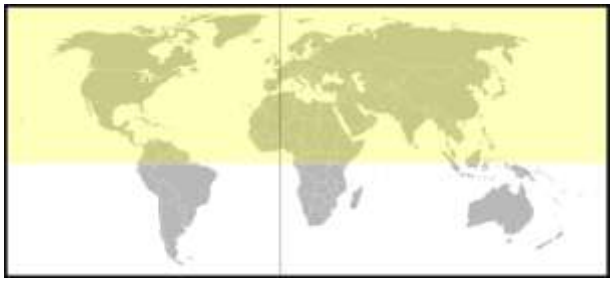


Imagen 37. Ubicación geográfica Bogotá
Fuente: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/af/Hemisferio_Norte.png

Teniendo en cuenta que la ciudad de Bogotá se encuentra ubicada en el hemisferio norte – Oeste, se tiene que el ángulo de azimut se halla mediante la ecuación:

$$A = 180° - A'$$

Donde,
A, es el ángulo de azimut y se expresa en grados
A', es un ángulo auxiliar para el cálculo del ángulo de azimut y se halla mediante la expresión:

$$A' = Arc\ tan\left(\frac{\tan|\theta_S - \theta_L|}{sen\ \theta_l}\right)$$

$$A' = Arc\ tan\left(\frac{\tan|27.5 - 74|}{sen\ 4}\right)$$

$$A' = Arc\ tan\left(\frac{\tan|27.5 - 74|}{sen\ 4}\right)$$

$$A' = Arc\ tan\left(\frac{1.053}{0.0694}\right)$$

$$A' = Arc\ tan(15.10)$$

$$A' = 86.21°$$

Teniendo A', se procede a calcular el ángulo de azimut,

$$A = 180° - 86.21$$
$$A = 93.78°$$

Teniendo en cuenta los cálculos realizados la antena de la estación terrena en Bogotá debe estar orientada a $93.78°$ *de azimut y* con una elevación de $36.55°$.

En las siguientes figuras, se muestra la ubicación de los satélites según su ubicación en la órbita geoestacionaria y los ángulos de azimut y elevación con los cuales debe orientarse las antenas de las estaciones terrenas en cada extremo del enlace con el fin de que puedan tener línea de vista con el satélite seleccionado, calculados a través de la página *https://satlex.it/es/azel_calc.html* y como se puede observar, son similares a los calculados a través de las expresiones matemáticas.

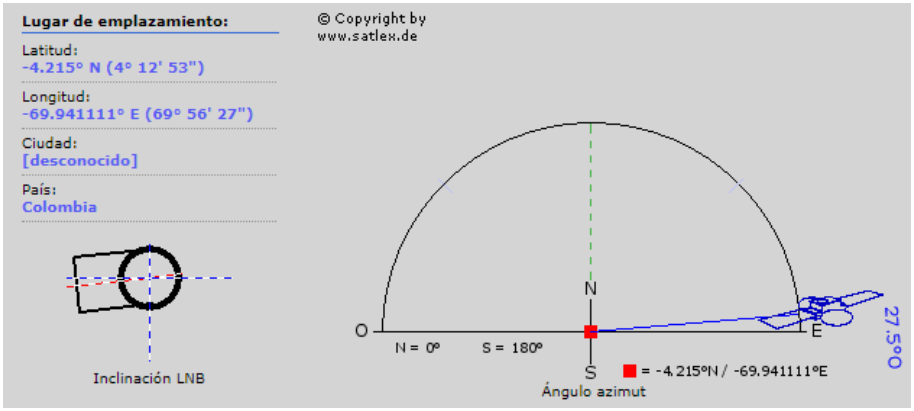


Imagen 38. Ubicación del satélite IS907 para la ciudad de Leticia.
Fuente: https://satlex.it/es/azel_calc.html

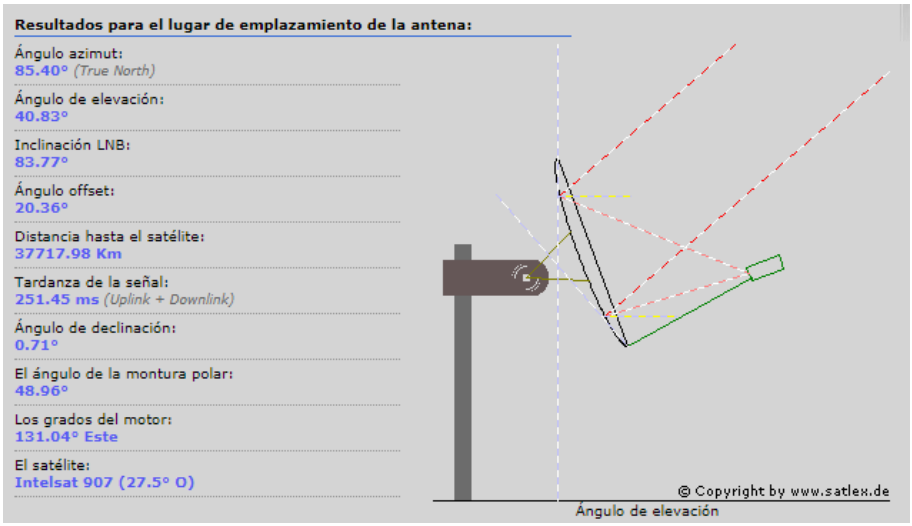


Imagen 39. Parámetros de orientación de la antena de la estación terrena en la ciudad de Leticia hacia el satélite IS907.
Fuente: https://satlex.it/es/azel_calc.html

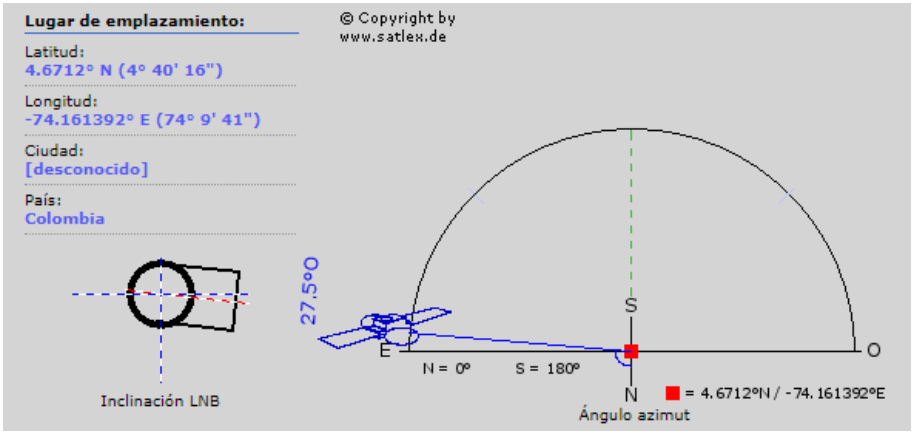


Imagen 40. Ubicación del satélite IS907 para la ciudad de Bogotá.
Fuente: https://satlex.it/es/azel_calc.html

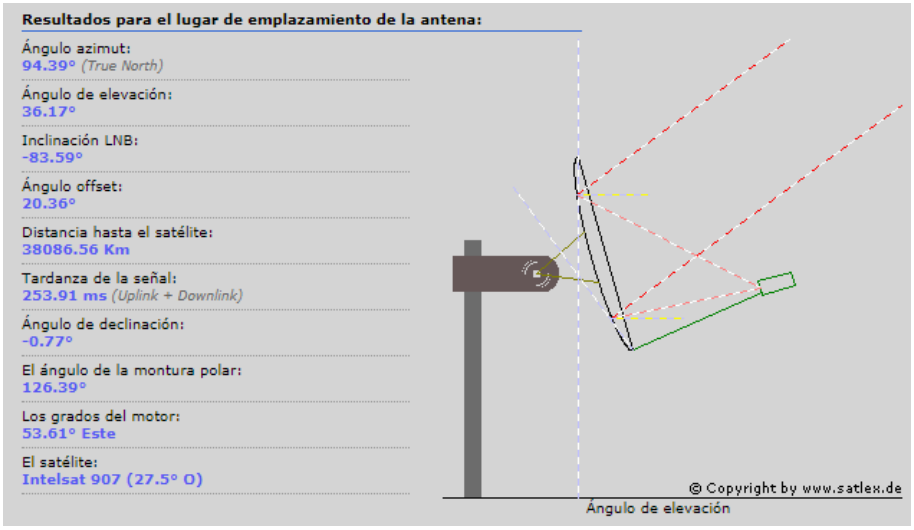


Imagen 41. Parámetros de orientación de la antena de la estación terrena en la ciudad de Bogotá hacia el satélite IS907.
Fuente: https://satlex.it/es/azel_calc.html

Distancia Oblicua

La distancia que hay desde la estación terrena al satélite se conoce como distancia oblicua, de acuerdo a los cálculos realizados a través de la página *https://satlex.it/es/azel_calc.html*, se determina que la distancia entre el satélite y la estación terrena es:

- Leticia - Satélite: 37.717,98 Km.
- Bogotá - Satélite: 38.086,56 Km.

4.7.Pérdidas de energía

El trayecto que recorre tanto el enlace ascendente como el descendente se ven afectados por diferentes factores que generan cierta atenuación de la señal por pérdida de energía, es por esta razón, que en el diseño del enlace debe considerarse las pérdidas por espacio libre, atenuaciones atmosféricas, pérdidas por apuntamiento y pérdidas en la alimentación de las antenas tanto en la estación terrena como a bordo del satélite.

4.8.Pérdidas Atmosféricas

En los enlaces satelitales, la señal presenta una atenuación al atravesar la atmósfera terrestre debido a los gases presentes que absorben parte de la energía, varía de acuerdo a la altura de la estación terrena sobre el nivel del mar, el ángulo de elevación, la temperatura y humedad y sobre todo la frecuencia de transmisión.

Basado en la Recomendación UIT-R 676-11 en donde especifica que si se desea obtener estimaciones rápidas y aproximadas para frecuencias de hasta 350 GHz, la atenuación causada por los gases puede calcularse de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\gamma = \gamma_0 + \gamma_w = 0{,}1820 f \left(N''_{Oxígeno}(f) + N''_{Vapordeagua}(f) \right) (dB/Km)$$

Donde,
γ_0: $Atenuaciones\ específicas\ debido\ al\ aire\ seco\ [dB/Km]$
γ_w: $Atenuaciones\ específicas\ debido\ al\ vapor\ de\ agua\ [dB/Km]$
f: $Frecuencia\ [GHz]$

En la siguiente tabla se muestra el resultado de un modelamiento hecho de acuerdo a la Recomendación UIT-R 676-11 en el cual se realizó el cálculo de las atenuaciones debidas al aire seco y al vapor de agua para distintos valores de frecuencias dadas en GHz:

F (Ghz)	yO	yW	Total y
1	0,00497	0,00005	0,00503
5	0,00626	0,00145	0,00771
10	0,00701	0,00662	0,01364
15	0,00831	0,02112	0,02943
20	0,01037	0,10061	0,11097
25	0,01351	0,13399	0,1475
30	0,01849	0,07929	0,09778
35	0,02703	0,07945	0,10648
40	0,04409	0,09203	0,13611
45	0,08759	0,11008	0,19767
50	0,26218	0,13185	0,39404
55	2,67334	0,15674	2,83008
60	1,66774	0,18448	1,85222
65	3,28142	0,21498	3,49641
70	0,37901	0,24818	0,62718
75	0,1389	0,28406	0,42296
80	0,07432	0,32263	0,39695
85	0,04834	0,36393	0,41227
90	0,03587	0,40799	0,44386
95	0,0298	0,45489	0,48469

Tabla 32. Modelamiento atenuaciones atmosféricas.
Fuente: https://es.scribd.com/document/242448740/Atenuacion-Especifica-por-Lluvia-y-Gases-final-docx

De acuerdo a la tabla 32 se considera la atenuación atmosférica igual a 0,02943 dB.

4.9.Pérdidas por no alineamiento de las antenas

Es importante que las antenas de las estaciones terrenas se encuentren correctamente apuntadas y alineadas hacia el satélite con el fin de obtener la máxima ganancia, sin embargo, puede presentarse que dichas antenas no se encuentren bien alineadas, por lo que es importante considerar las pérdidas que se puedan generar por esto.

DIÁMETRO DE LA ANTENA (m)	PÉRDIDAS EN EL ENLACE ASCENDENTE (dB)	PÉRDIDAS EN EL ENLACE DESCENDENTE (dB)	SEGUIMIENTO
1.2	0	0	Fijo
1.8	0	0	Fijo
2.4	0.4	0.2	Fijo
3.6	0.7	0.4	Fijo
7	0.9	0.9	Manual
11	0.5	0.5	Escalonado

Tabla 33. Pérdidas de apuntamiento. Fuente: Sistemas de telecomunicaciones, planeación y cálculo de enlaces.

4.10. Pérdidas asociadas a la lluvia L_{LL}

La lluvia aumenta la temperatura de ruido del cielo, por lo que afecta la etapa RF del receptor terrestre. Teniendo en cuenta que se ésta trabajando en banda Ku, es importante considerar las pérdidas asociadas a la lluvia con el fin de garantizar la disponibilidad del enlace satelital.

Para el cálculo de la atenuación por lluvia, se tiene en cuenta la recomendación de la ITU P.838: Modelo de la atenuación específica debida a la lluvia para los métodos de predicción, la cual indica que la atenuación específica γ_R (dB/km) se obtiene a partir de la intensidad de la lluvia R (mm/h) mediante la ley potencial:

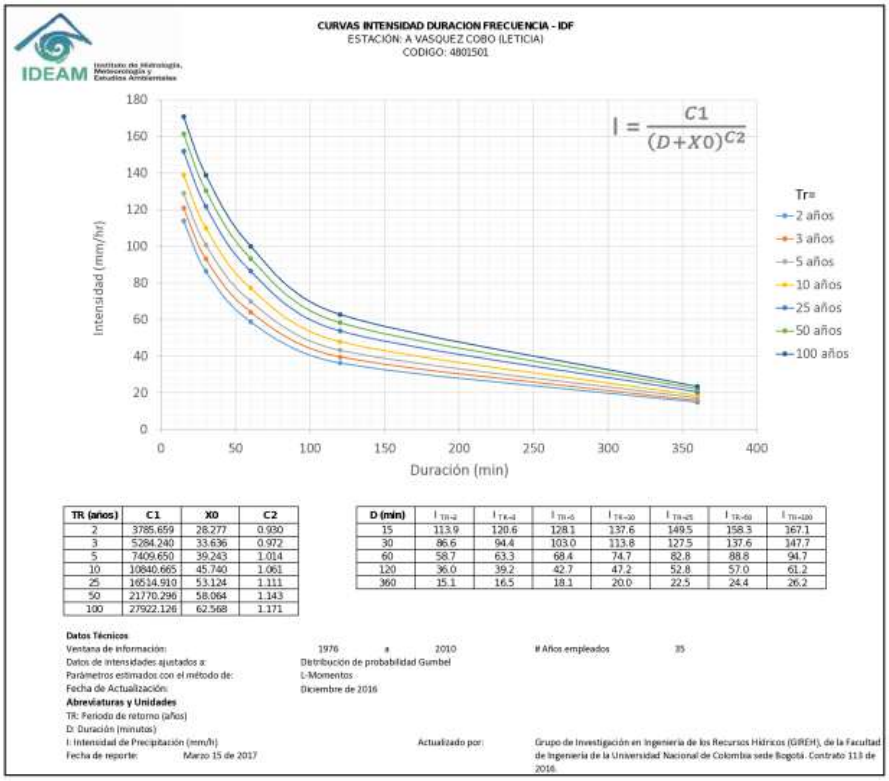
$$\gamma_R = kR^{\alpha}$$

Frecuencia (GHz)	k_H	k_V	α_H	α_V
1	0.0000387	0.0000352	0.912	0.880
2	0.000154	0.000138	0.963	0.923
4	0.000650	0.000591	1.121	1.075
6	0.00175	0.00155	1.308	1.265
7	0.00301	0.00265	1.332	1.312
8	0.00454	0.00395	1.327	1.310
10	0.0101	0.00887	1.276	1.264
12	0.0188	0.0168	1.217	1.200
15	**0.0367**	**0.0335**	**1.154**	**1.128**
20	0.0751	0.0691	1.099	1.065
25	0.124	0.113	1.061	1.030
30	0.187	0.167	1.021	1.000
35	0.263	0.233	0.979	0.963
40	0.350	0.310	0.939	0.929
45	0.442	0.393	0.903	0.897
50	0.536	0.479	0.873	0.868
60	0.707	0.642	0.826	0.824
70	0.851	0.784	0.793	0.793
80	0.975	0.906	0.769	0.769
90	1.06	0.999	0.753	0.754
100	1.12	1.06	0.743	0.744

Tabla 34. Coeficientes que depende de la frecuencia para estimar la atenuación específica debida a la lluvia. Fuente: ITU P.838.
Fuente: https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2954388.pdf

Para una frecuencia de 15 GHz, con polarización horizontal se tiene que k = 0.0367 y $\alpha = 1.154$.

Partiendo de las curvas IDF proporcionadas por el IDEAM para la ciudad de Leticia se tiene una intensidad de lluvia de 113.9 mm/hr, se toma dicho valor ya que es el valor de intensidad más alto y la probabilidad de que es ocurrencia es de 2 años.



TR (años)	C1	X0	C2
2	3785.659	28.277	0.930
3	5284.240	33.636	0.972
5	7409.650	39.243	1.014
10	10840.665	45.740	1.061
25	16514.910	53.124	1.111
50	21770.296	58.064	1.143
100	27922.126	62.568	1.171

D (min)	I TR=2	I TR=3	I TR=5	I TR=10	I TR=25	I TR=50	I TR=100
15	113.9	120.6	128.1	137.6	149.5	158.3	167.1
30	86.6	94.4	103.0	113.8	127.5	137.6	147.7
60	58.7	63.3	68.4	74.7	82.8	88.8	94.7
120	36.0	39.2	42.7	47.2	52.8	57.0	61.2
360	15.1	16.5	18.1	20.0	22.5	24.4	26.2

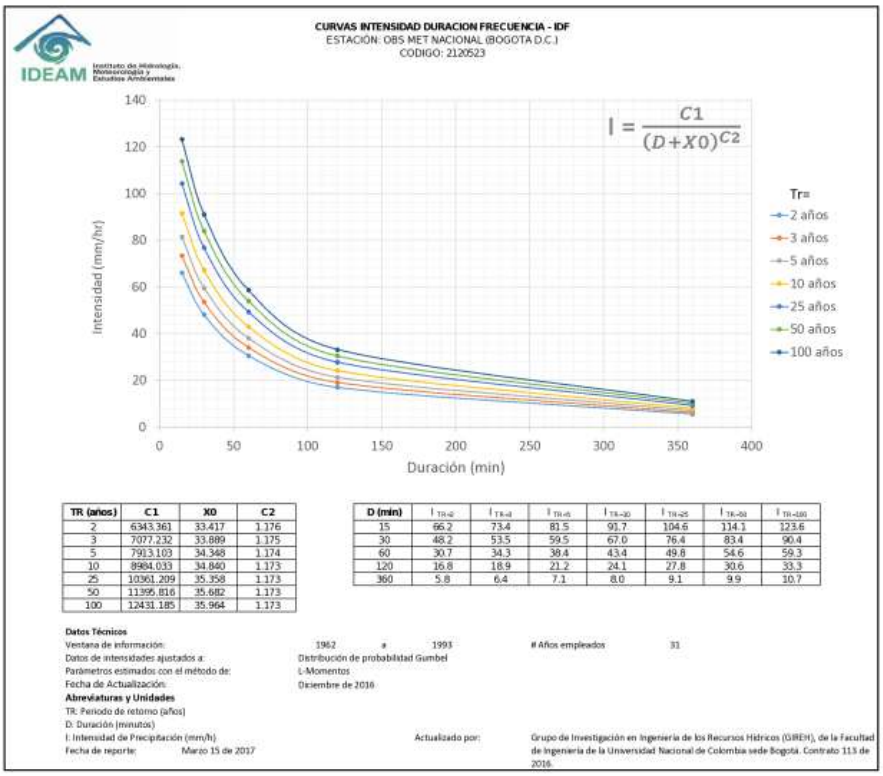
Datos Técnicos
Ventana de información: 1976 a 2010 # Años empleados 35
Datos de intensidades ajustados a: Distribución de probabilidad Gumbel
Parámetros estimados con el método de: L-Momentos
Fecha de Actualización: Diciembre de 2016
Abreviaturas y Unidades
TR: Periodo de retorno (años)
D: Duración (minutos)
I: Intensidad de Precipitación (mm/h)
Fecha de reporte: Marzo 15 de 2017
Actualizado por: Grupo de Investigación en Ingeniería de los Recursos Hídricos (GIREH), de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Contrato 113 de 2016.

Imagen 42. Curva IDF ciudad de Leticia.
Fuente: http://www.ideam.gov.co/curvas-idf

Teniendo en cuenta lo anterior, a partir de la siguiente ecuación se tiene:

$$\gamma_R = kR^{\alpha}$$
$$\gamma_R = (0.0367\ )(113.9^{1.154})$$
$$\gamma_R = 8.66\ dB/Km$$

Partiendo de las curvas IDF proporcionadas por el IDEAM para la ciudad de Bogotá se tiene que una intensidad de lluvia de 66.2 mm/hr, se toma dicho valor ya que es el valor de intensidad más alto y la probabilidad de que es ocurrencia es de 2 años.



TR (años)	C1	X0	C2
2	6343.361	33.417	1.176
3	7077.232	33.889	1.175
5	7913.103	34.348	1.174
10	8984.033	34.840	1.173
25	10361.209	35.358	1.173
50	11395.816	35.682	1.173
100	12431.185	35.964	1.173

D (min)	$I_{TR=2}$	$I_{TR=3}$	$I_{TR=5}$	$I_{TR=10}$	$I_{TR=25}$	$I_{TR=50}$	$I_{TR=100}$
15	66.2	73.4	81.5	91.7	104.6	114.1	123.6
30	48.2	53.5	59.5	67.0	76.4	83.4	90.4
60	30.7	34.3	38.4	43.4	49.8	54.6	59.3
120	16.8	18.9	21.2	24.1	27.8	30.6	33.3
360	5.8	6.4	7.1	8.0	9.1	9.9	10.7

Datos Técnicos
Ventana de información: 1962 a 1993 # Años empleados 31
Datos de intensidades ajustados a: Distribución de probabilidad Gumbel
Parámetros estimados con el método de: L-Momentos
Fecha de Actualización: Diciembre de 2016
Abreviaturas y Unidades
TR: Periodo de retorno (años)
D: Duración (minutos)
I: Intensidad de Precipitación (mm/h)
Fecha de reporte: Marzo 15 de 2017
Actualizado por: Grupo de Investigación en Ingeniería de los Recursos Hídricos (GIREH), de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Contrato 113 de 2016.

Imagen 43. Curva IDF ciudad de Bogotá
Fuente: http://www.ideam.gov.co/curvas-idf

Teniendo en cuenta lo anterior, a partir de la siguiente ecuación se tiene:

$$\gamma_R = kR^{\alpha}$$
$$\gamma_R = (0.0367\ )(66.2^{1.154})$$
$$\gamma_R = 4.63\ dB/Km$$

4.11. DISEÑO BOGOTÁ – LETICIA



Imagen 44. Enlace satelital entre Bogotá y Leticia

Sabiendo que el tráfico downstream de Leticia es el tráfico de subida desde Bogotá y de bajada en Leticia, se realizará el cálculo con una aproximación de 322 Mbps, teniendo en cuenta que el enlace de subida es el tramo Bogotá – Satélite y el enlace de bajada es el tramo Satélite – Leticia. El tamaño de la cabecera depende del tipo de tráfico que se esté transmitiendo, para efectos prácticos del proyecto se asumirá un valor de 0 bps para realizar los cálculos.

De acuerdo a las características del módem Newtec MDM6000, la portadora del Outbound tendrá un factor de caída del 5% y se trabajará con una modulación de 32-APSK con FEC 9/10.

$$IR\ (Tasa\ de\ Información)\ =\ 322\ Mbps$$
$$OH\ (Bits\ de\ Encabezado)\ =\ 0\ bps$$

$$Velocidad\ Compuesta)\ =\ IR\ +\ OH$$
$$CR\ =\ 175\ Mbps\ +\ 0\ bps\ =\ 322\ Mbps$$

$$FEC\ =\ 9/10$$

$$R\ (Velocidad\ de\ Transmisión)\ =\ \frac{CR}{FEC}$$

$$R = \frac{322\ Mbps}{\frac{9}{10}}$$

$$R = 357{,}778\ \text{Mbps}$$

Para una modulación 32-APSK,

$$SR\ (Velocidad\ de\ símbolo)\ =\ \frac{R}{5}$$

$$SR\ (Velocidad\ de\ símbolo)\ =\ \frac{357{,}778\ Mbps}{5}$$

$$SR\ (Velocidad\ de\ símbolo) =\ 71{,}556 Mbps$$

- $\alpha\ (Factor\ de\ Caída\ o\ Roll\ Off)\ =\ 0{,}05$

$$B\ (Ancho\ de\ banda)\ =\ (1+\alpha)\ SR$$

$$B\ =\ (1+0{,}05)\left(\frac{1}{5}\right)(357{,}778\ Mbps)$$

$$B\ =\ 75{,}134\ MHz$$

$$B\ \approx\ 76\ MHz$$

Teniendo en cuenta el ancho de banda requerido para transmitir 322 Mbps con los parámetros antes mencionados, se arrendará a INTELSAT 56 MHz del transpondedor 61 de 77MHz completo.

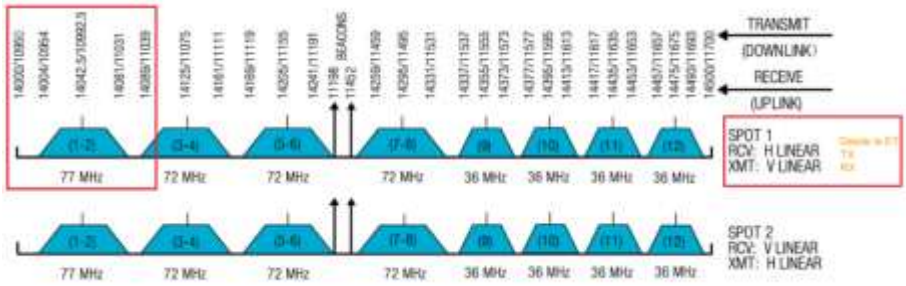


Imagen 45. Transpondedores Intelsat 907 en Banda Ku seleccionando el 61. Autores.

En la siguiente tabla se detalla las características de la portadora de Inbound:

Transpondedor	61
Frec. Inicial	14004 MHz / 10954 MHz
Frec. Central	14042.5 MHz / 10992.5 MHz
Frec. Final	14081 MHz / 11031 MHz
Bandwidth	77 MHz
Roll-Off	0,05
Modulación	32-APSK
FEC	9/10

Tabla 35. Parámetros de la portadora

Evaluación del Eb/No Requerido

Dado el MODCOD anteriormente determinado 32-APSK 9/10, en la tabla 29 se puede observar que se requiere un Es/No igual o mayor a 16,05 dB cuya eficiencia espectral es 4,453027. Teniendo estos valores se puede calcular el Eb/No (relación energía por bit / densidad espectral de potencia de ruido) de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\frac{Eb}{No} = \frac{Es}{No} - 10log_{10}\eta$$

$$\frac{Eb}{No} = 16{,}05 - 10log_{10}\,4{,}453027$$

$$\frac{Eb}{No} = 9{,}563446716\ dB$$

Donde,

$\frac{Eb}{No}$*: Relación de energía por bit a densidad de ruido.*

$\frac{Es}{No}$*: Relación de energía por símbolo a densidad de ruido.*

η*: Eficiencia espectral.*

Pérdidas espacio libre

Teniendo en cuenta la distancia oblicua entre Bogotá y el satélite IS907 y la frecuencia central de subida en GHz de Bogotá al satélite, se calcula las pérdidas de espacio libre del enlace ascendente del trayecto Bogotá - Satélite de acuerdo a la siguiente ecuación:

- ✓ Bogotá

$$Lo_S = 92{,}4 + 20logf_S + 20logd_{B-S}$$

$$Lo_S = 92{,}4 + 20\log(14.0425) + 20\log(38086{,}56)$$

$$Lo_S = 92{,}4 + 22.948 + 91{,}615$$

$$Lo_S = 206{,}965\ dB$$

Donde,

f_S *: Frecuencia de Subida en GHz*

d_{BS} *: Distancia Oblícua Leticia-Satélite en Km*

Teniendo en cuenta la distancia oblicua entre Leticia y el satélite IS907 y la frecuencia central de bajada en GHz del satélite a Leticia, se calcula las pérdidas de espacio libre del enlace descendente del trayecto Satélite - Leticia de acuerdo a la siguiente ecuación:

- Leticia

$$Lo_B = 92{,}4 + 20logf_B + 20logd_{L-S}$$

$$Lo_B = 92{,}4 + 20\log(10.9925) + 20\log(37717.98)$$

$$Lo_B = 92{,}4 + 20.821 + 91{,}530$$

$$Lo_B = 204{,}753\ dB$$

Donde,

f_B *: Frecuencia de Bajada en GHz*

d_{LS} *: Distancia Oblícua Bogotá-Satélite en Km*

Relación portadora a temperatura equivalente de ruido "C/T"

La temperatura equivalente de ruido es un parámetro que puede calcularse pero no puede medirse, representa el ruido que introduce el equipo receptor.

Para hallar la relación portadora a temperatura, se parte de las siguientes ecuaciones:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{C}{N_0} - CR$$

$$\frac{C}{N_0} = \frac{E_b}{N_0} + 10\ Log\ CR$$

$$\frac{C}{N_0} = 9{,}563446716 + 10log_{10}\ 322\ x\ 10^6$$

$$\frac{C}{N_0} = 94{,}64200543\ dBHz$$

Donde,

$\frac{C}{N_0}$*: Relación portadora a densidad de ruido.*

$\frac{E_b}{N_0}$*: Relación de energía por bit a densidad de ruido.*

CR*: Velocidad compuesta.*

Conociendo la relación de portadora a densidad de ruido, se puede calcular la relación portadora a temperatura equivalente de ruido.

$$\frac{C}{N_0} = \frac{C}{T} - K$$

$$\frac{C}{T} = \frac{C}{N_0} + K$$

$$\frac{C}{T} = 94{,}64200543 + 10\ Log\ 1.38\ x\ 10^{-23}$$

$$\frac{C}{T} = 94{,}64200543 - 228{,}6$$

$$\frac{C}{T} = -133{,}9579946\ dBWK^{-1}$$

Donde,

K: Constante de Boltzman, igual a 1,3806488 x $10^{-23} JK^{-1}$

$\frac{C}{T}$: *Relación portadora a Temperatura equivlentede ruido.*

Potencia Isotrópica Radiada Efectiva de Funcionamiento del Transponer "$PIRE_F$"

El cálculo de la PIRE de funcionamiento se realiza con los parámetros del enlace descendente de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$PIRE_F = \frac{C}{T} - \frac{G}{T} - \beta + L_0 + L_{AA} + L_{DA} + L_{LL}$$

$$PIRE_F = -133{,}9579946 - 35{,}3 - 2 + 204{,}753 + 0{,}02943 + 0{,}5 + 8{,}66$$

$$PIRE_F = 42{,}68443543\ dBW$$

Donde,

$\frac{G}{T}$: *Figura de mérito de la estación terrena receptora.*

β: *Ventaja geográfica de la estación terrena.*

L_0: *Pérdidas por espacio libre.*

L_{AA}: *Pérdidas Atomosféricas Adicionales.*

L_{DA}: *Pérdidas por No Alineamiento de las antenas.*

L_{LL}: *Pérdidas producto de la LLuvia.*

Pérdidas de respaldo de energía a la salida

$$OBO = PIRE_{SATURACIÓN} - PIRE_{FUNCIONAMIENTO}$$

$$OBO = 47 - 42{,}68443543$$

$$OBO = 4{,}315564567\ dB$$

Pérdidas de respaldo de entrada

$$IBO = X + OBO$$

$$IBO = 2 + 4{,}315564567$$

$$IBO = 6{,}315564567 dB$$

Donde,

X: Ganancia de compresión.

Densidad de flujo de operación

$$OFD = SFD - IBO$$

$$OFD = -69 - 6{,}315564567$$

$$OFD = -75{,}31556457\ \frac{dBW}{m^2}$$

Donde,

OFD: Densidad de Flujo de saturación.

OFD: Densidad de Flujo de Operación.

Potencia Isotrópica Radiada Efectiva de Operación del Transpondedor

$$PIRE = W + L_0 + L_{AA} + L_{DA} + L_{LL} - G_R(lm^2) - \beta$$

- ✓ *Ganancia de la antena de $1m^2$ de área*

$$G_R(1m^2) = 20\log(f) + 20\log(D) + 20.4$$

$$G_R(1m^2) = 20\log(14.0425) + 20\log(1{,}13) + 20.4$$

$$G_R(1m^2) = 22.948 + 1{,}061 + 20.4$$

$$G_R(1m^2) = 44{,}41045752\ dB$$

Donde,

$G_R(1m^2)$: *Ganancia de la antena de* lm^2 *de área.*

20.4: *Constante.*

f: Frecuencia de subida en GHz.

D: Diámetro de una antena de $1m^2$.

$$PIRE_o = -75{,}31556457 + 206{,}965 + 0{,}02943 + 0{,}5 + 4{,}63 - 44{,}41045752 - 5$$

$$PIRE_o = 87{,}39840791\ dBW$$

Potencia de transmisión de la estación terrena

$$P_T = PIRE - G_T + L_t$$

$$P_T = 87{,}39840791 - 62{,}32 + 3$$

$$P_T = 28.07840791\ dBW$$

$$P_T = \ 642.45216\ W$$

Donde,

G_T: *Ganancia de la antena transmisora.*

L_T: *Pérdidas línea de transmisión de la antena.*

Calidad de los enlaces

Con el fin de comprobar si la relación portadora a temperatura equivalente de ruido total $(\mathrm{C/T})_\mathrm{T}$ es mayor o igual a la relación portadora a temperatura equivalente de ruido proyectada $(\mathrm{C/T})_\mathrm{P}$, se procede a realizar los cálculos para garantizar la calidad del enlace satelital, a través de la siguiente fórmula:

$$\frac{1}{(C/T)_T} = \frac{1}{(C/T)_S} + \frac{1}{(C/T)_B} + \frac{1}{(C/T)_{IMSAT}} + \frac{1}{(C/T)_{COORT}} + \frac{1}{(C/T)_{ETC}}$$

- **Relación portadora a temperatura equivalente de ruido del enlace ascendente.**

$$\left(\frac{C}{T}\right)_S = PIRE_S + \left(\frac{G}{T}\right)_{SATE} + \beta_S - L_{OS} - L_{ASS} - L_{DAS} - L_{LLS}$$

Donde, $\left(\frac{G}{T}\right)_{SATE} + \beta_S = 6.5$ dB/K

$$\left(\frac{C}{T}\right)_S = 87{,}39840791\ \ + 6.5 - 206{,}965 - 0{,}02943 - 0.5 - 4.63$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_S = \ -118.2260221\ dBWK^{-1}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_S = \ 1.504519396\ x10^{-12}$$

$$\frac{1}{(C/T)_S} = \ 6.646640798\ x10^{11}$$

- **Relación portadora a temperatura equivalente de ruido del enlace descendente.**

$$\left(\frac{C}{T}\right)_B = PIRE_B + \left(\frac{G}{T}\right)_{ET} + \beta_B - L_{OB} - L_{ASB} - L_{DAB} - L_{LLB}\text{z}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_B = 42{,}68443543 \;\; + 35.3 + 2 - 204{,}753 \; - 0{,}02943 - 0.5 - 8.66$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_B = \; -133.9579946 \; dBWK^{-1}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_B = 4.019763876 \; x10^{-14}$$

$$\frac{1}{(C/T)_B} = 2.487708311 \; x10^{13}$$

- **Relación portadora a temperatura equivalente de ruido producto de la intermodulación en el amplificador de alta potencia del satélite.**

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{IMSAT} = PIRE_B + IM_{SATE} + 10 \; Log 4 \; x10^3 + 10 \; Log \; K$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{IMSAT} = 42{,}68443543 \; + 24 + 36.02 - 228.6$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{IMSAT} = \; -125.8955646 \; dBWK^{-1}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{IMSAT} = \; 2.573022257 \; x10^{-13}$$

$$\frac{1}{(C/T)_{IMSAT}} = \; 3.886480178 \; x10^{12}$$

- **Relación portadora a temperatura equivalente de ruido producto de la interferencia de señales cocanales polarizadas ortogonalmente**

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{IMSAT} = \frac{C}{I} + 10 \; Log \; B + 10 \; Log \; K$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{IMSAT} = 27 + 10 \; Log \; 77 \; x10^6 - 228.6$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{IMSAT} = 27 + 78.8649 - 228.6$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{IMSAT} = -122.7350927\ dBWK^{-1}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{IMSAT} = 5.327098476\ x10^{-13}$$

$$\frac{1}{(C/T)_{COORT}} = 1.877194507\ x10^{12}$$

- **Relación portadora a temperatura equivalente de ruido producto de la intermodulación en el amplificador de alta potencia de la estación terrena**

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{IMET}$$

Para efectos del diseño no se tiene en cuenta, ésta se considera si la reducción de la potencia de salida del amplificador de alta potencia es menor de 7dB funcionando con portadores múltiples.

Una vez se tiene cada uno de los cálculos de relación portadora a temperatura equivalente de ruido, se procede a realizar la sumatoria para obtener la Relación portadora a temperatura equivalente de ruido total.

$$\frac{1}{(C/T)_T} = \frac{1}{(C/T)_S} + \frac{1}{(C/T)_B} + \frac{1}{(C/T)_{IMSAT}} + \frac{1}{(C/T)_{COORT}} + \frac{1}{(C/T)_{ETC}}$$

$$\frac{1}{(C/T)_T} = 6.646640798\ x10^{11} + 2.487708311\ x10^{13} + 3.886480178\ x10^{12} + 1.877194507\ x10^{12}$$

$$\frac{1}{(C/T)_T} = 3.130542188\ x10^{13}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_T = 3.194334847\ x10^{-14}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_T = -134.9561956\ dBWK^{-1}$$

- **Relación portadora a temperatura equivalente de ruido Proyectada**

$$\left(\frac{C}{T}\right)_P = -133{,}9579946\ dBWK^{-1}$$

Teniendo en cuenta que la temperatura equivalente de ruido total -134.9561956 $dBWK^{-1}$, es menor que la temperatura equivalente de ruido proyectada -133,9579946 $dBWK^{-1}$ el enlace Bogotá –

Leticia no operará de manera adecuada, por lo que se debe aumentar la potencia de transmisión para garantizar el BER proyectado.

Se debe aumentar 0.998201008 $dBWK^{-1}$ (Diferencia entre la relación C/T proyectada y total), por lo tanto se tiene:

$$PIRE_O = 87{,}39840791 \ \ dBW$$

$$PIRE_O = 87{,}39840791 + 0.998201008$$

$$PIRE_O = 88.39660892 \ dBW$$

Una vez se realiza el aumento de potencia para garantizar el BER proyectado, se tiene que la potencia del transmisor equivale a:

$$P_T = PIRE - G_T + L_t$$

$$P_T = 88.39660892 - 62{,}32 + 3$$

$$P_T = 29.07660892 \ dBW$$

$$\boldsymbol{P_T = 808.4643831 \ W}$$

4.12. DISEÑO LETICIA - BOGOTÁ



Imagen 46. Enlace satelital entre Leticia y Bogotá

Sabiendo que el tráfico upstream de Leticia es el tráfico de subida desde Leticia y de bajada desde Bogotá, se realizará el cálculo con una aproximación de 175 Mbps, teniendo en cuenta que el enlace de subida es el tramo Leticia – Satélite y el enlace de bajada es el tramo Satélite – Bogotá. El tamaño de la cabecera depende del tipo de tráfico que se esté transmitiendo, para efectos prácticos del proyecto se asumirá un valor de 0 bps para realizar los cálculos.

De acuerdo a las características del módem Newtec MDM6000, la portadora del Outbound tendrá un factor de caída del 5% y se trabajará con una modulación de 16-APSK con FEC 5/6.

$IR\ (Tasa\ de\ Información)\ =\ 175\ Mbps$
$OH\ (Bits\ de\ Encabezado)\ =\ 0\ bps$

$$Velocidad\ Compuesta)\ =\ IR\ +\ OH$$
$$CR\ =\ 175\ Mbps\ +\ 0\ bps\ =\ 175\ Mbps$$

$FEC\ =\ 5/6$

$$R\ (Velocidad\ de\ Transmisión)\ =\ \frac{CR}{FEC}$$

$$R = \frac{175\ \text{Mbps}}{5/6}$$

$$R = 210\ Mbps$$

Para una modulación 16-APSK,

$$SR\ (Velocidad\ de\ símbolo)\ =\ \frac{R}{4}$$

$$SR\ (Velocidad\ de\ símbolo)\ =\ \frac{210\ Mbps}{4}$$

$$SR\ (Velocidad\ de\ símbolo)\ =\ 52.5\ Mbps$$

- $\alpha\ (Factor\ de\ Caída\ o\ Roll\ Off)\ =\ 0{,}05$

$$B\ (Ancho\ de\ banda)\ =\ (1+\alpha)\ SR$$

$$B\ =\ (1+0{,}05)\left(\frac{1}{4}\right)(210\ Mbps)$$

$$B\ =\ 55.125\ MHz$$

$$B\ \approx\ 56\ MHz$$

Teniendo en cuenta el ancho de banda requerido para transmitir 175 Mbps con los parámetros antes mencionados, se arrendará a INTELSAT 56 MHz del transpondedor 62.

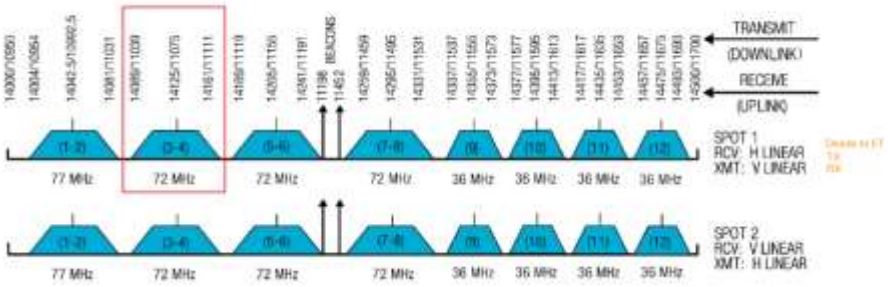


Imagen 47. Transpondedores Intelsat 907 en Banda Ku seleccionando el 62. Autores.

En la siguiente tabla se detalla las características de la portadora de Inbound:

Transpondedor	62
Frec. Inicial	14125 MHz / 11039 MHz
Frec. Central	14153 MHz / 11067 MHz
Frec. Final	14181 MHz / 11095 MHz
Bandwidth	56 MHz
Roll-Off	0,05
Modulación	16-APSK
FEC	5/6

Tabla 36. Parámetros de la portadora

Evaluación del Eb/No Requerido

Dado el MODCOD anteriormente determinado 16-APSK 5/6, en la tabla 29 se puede observar que se requiere un Es/No igual o mayor a 11,61 dB cuya eficiencia espectral es 3.300184. Teniendo estos valores se puede calcular el Eb/No (relación energía por bit / densidad espectral de potencia de ruido) de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\frac{Eb}{No} = \frac{Es}{No} - 10log_{10}\eta$$

$$\frac{Eb}{No} = 11.61 - 10log_{10}\,3.300184$$

$$\frac{Eb}{No} = 6.424618456\,dB$$

Donde,

$\frac{Eb}{No}$*: Relación de energía por bit a densidad de ruido.*

$\frac{Es}{No}$*: Relación de energía por símbolo a densidad de ruido.*

η*: Eficiencia espectral.*

Pérdidas espacio libre

Teniendo en cuenta la distancia oblicua entre Leticia y el satélite IS907 y la frecuencia central de subida en GHz de Leticia al satélite, se calcula las pérdidas de espacio libre del enlace ascendente del trayecto Leticia - Satélite de acuerdo a la siguiente ecuación:

- ✓ Leticia

$$Lo_S = 92{,}4 + 20logf_S + 20logd_{B-S}$$

$$Lo_S = 92{,}4 + 20\log(14.153) + 20\log(37717.98)$$

$$Lo_S = 92{,}4 + 23.016 + 91{,}530$$

$$Lo_S = 206{,}947\ dB$$

Donde,

f_S *: Frecuencia de Subida en GHz*

d_{BS} *: Distancia Oblícua Leticia-Satélite en Km*

Teniendo en cuenta la distancia oblicua entre Bogotá y el satélite IS907 y la frecuencia central de bajada en GHz del satélite a Bogotá, se calcula las pérdidas de espacio libre del enlace descendente del trayecto Satélite - Bogotá de acuerdo a la siguiente ecuación:

- ✓ Bogotá

$$Lo_B = 92{,}4 + 20logf_B + 20logd_{L-S}$$

$$Lo_B = 92{,}4 + 20\log(11.067) + 20\log(38086{,}56)$$

$$Lo_B = 92{,}4 + 20.880 + 91{,}615$$

$$Lo_B = 204{,}896\ dB$$

Donde,

f_B *: Frecuencia de Bajada en GHz*

d_{LS} *: Distancia Oblícua Bogotá-Satélite en Km*

Relación portadora a temperatura equivalente de ruido "C/T"

La temperatura equivalente de ruido es un parámetro que puede calcularse pero no puede medirse, representa el ruido que introduce el equipo receptor.

Para hallar la relación portadora a temperatura, se parte de las siguientes ecuaciones:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{C}{N_0} - CR$$

$$\frac{C}{N_0} = \frac{E_b}{N_0} + 10\ Log\ CR$$

$$\frac{C}{N_0} = 6.424618456 + 10log_{10}\ 175\ x\ 10^6$$

$$\frac{C}{N_0} = 88.85499894\ dBHz$$

Donde,

$\frac{C}{N_0}$*: Relación portadora a densidad de ruido.*

$\frac{E_b}{N_0}$*: Relación de energía por bit a densidad de ruido.*

CR*: Velocidad compuesta.*

Conociendo la relación de portadora a densidad de ruido, se puede calcular la relación portadora a temperatura equivalente de ruido.

$$\frac{C}{N_0} = \frac{C}{T} - K$$

$$\frac{C}{T} = \frac{C}{N_0} + K$$

$$\frac{C}{T} = 88.85499894 + 10\ Log\ 1.38\ x\ 10^{-23}$$

$$\frac{C}{T} = 88.85499894 - 228{,}6$$

$$\frac{C}{T} = -139.7450011\ dBWK^{-1}$$

Donde,

K: Constante de Boltzman, igual a 1,3806488 x 10⁻²³JK⁻¹

$\frac{C}{T}$*: Relación portadora a Temperatura equivlentede ruido.*

Potencia Isotrópica Radiada Efectiva de Funcionamiento del Transponer "$PIRE_F$"

El cálculo de la PIRE de funcionamiento se realiza con los parámetros del enlace descendente de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$PIRE_F = \frac{C}{T} - \frac{G}{T} - \beta + L_0 + L_{AA} + L_{DA} + L_{LL}$$

$$PIRE_F = -139.7450011 - 37.97 - 5 + 204{,}896 + 0{,}02943 + 0{,}5 + 4{,}63$$

$$PIRE_F = 27.3404289\ dBW$$

Donde,

$\frac{G}{T}$: *Figura de mérito de la estación terrena receptora.*

β: *Ventaja geográfica de la estación terrena.*

L_0: *Pérdidas por espacio libre.*

L_{AA}: *Pérdidas Atomosféricas Adicionales.*

L_{DA}: *Pérdidas por No Alineamiento de las antenas.*

L_{LL}: *Pérdidas producto de la LLuvia.*

Pérdidas de respaldo de energía a la salida

$$OBO = PIRE_{SATURACIÓN} - PIRE_{FUNCIONAMIENTO}$$

$$OBO = 47 - 27.3404289$$

$$OBO = 19.6595711\ dB$$

Pérdidas de respaldo de entrada

$$IBO = X + OBO$$

$$IBO = 2 + 19.6595711$$

$$IBO = 21.6595711\ dB$$

Donde,

X: Ganancia de compresión.

Densidad de flujo de operación

$$OFD = SFD - IBO$$

$$OFD = -69 - 18.9895711$$

$$OFD = -90.6595711\ \frac{dBW}{m^2}$$

Donde,

OFD: Densidad de Flujo de saturación.

OFD: Densidad de Flujo de Operación.

Potencia Isotrópica Radiada Efectiva de Operación del Transpondedor

$$PIRE = W + L_0 + L_{AA} + L_{DA} + L_{LL} - G_R(lm^2) - \beta$$

- ✓ *Ganancia de la antena de $1m^2$ de área*

$$G_R(1m^2) = 20\log(f) + 20\log(D) + 20.4$$

$$G_R(1m^2) = 20\log(14.153) + 20\log(1{,}13) + 20.4$$

$$G_R(1m^2) = 23.016 + 1{,}061 + 20.4$$

$$G_R(1m^2) = 44{,}478\ dB$$

Donde,

$G_R(1m^2)$: *Ganancia de la antena de lm^2 de área.*

20.4: *Constante.*

f: Frecuencia de subida en GHz.

D: Diámetro de una antena de $1m^2$.

$$PIRE_O = -90.6595711\ + 206.947 + 0{,}02943 + 0{,}5 + 8.66 - 44{,}478\ - 2$$

$$PIRE_O = 78.9988589\ dBW$$

Potencia de transmisión de la estación terrena

$$P_T = PIRE - G_T + L_t$$

$$P_T = 78.9988589\ - 59 + 3$$

$$P_T = 22.9988589\ dBW$$

$$P_T = \ 199.4738133\ W$$

Donde,

G_T: *Ganancia de la antena transmisora.*

L_T: *Pérdidas línea de transmisión de la antena.*

Calidad de los enlaces

Con el fin de comprobar si la relación portadora a temperatura equivalente de ruido total $(C/T)_T$ es mayor o igual a la relación portadora a temperatura equivalente de ruido proyectada $(C/T)_P$, se procede a realizar los cálculos para garantizar la calidad del enlace satelital, a través de la siguiente fórmula:

$$\frac{1}{(C/T)_T} = \frac{1}{(C/T)_S} + \frac{1}{(C/T)_B} + \frac{1}{(C/T)_{IMSAT}} + \frac{1}{(C/T)_{COORT}} + \frac{1}{(C/T)_{ETC}}$$

- **Relación portadora a temperatura equivalente de ruido del enlace ascendente.**

$$\left(\frac{C}{T}\right)_S = PIRE_S + \left(\frac{G}{T}\right)_{SATE} + \beta_S - L_{OS} - L_{ASS} - L_{DAS} - L_{LLS}$$

Donde, $\left(\frac{G}{T}\right)_{SATE} + \beta_S = 2.5$ dB/K

$$\left(\frac{C}{T}\right)_S = 78.9988589 + 2.5 - 206{,}947 - 0{,}02943 - 0.5 - 8.66$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_S = -134.6375711\ dBWK^{-1}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_S = 3.43750145\ x10^{-14}$$

$$\frac{1}{(C/T)_S} = 2.909089682\ x10^{13}$$

- **Relación portadora a temperatura equivalente de ruido del enlace descendente.**

$$\left(\frac{C}{T}\right)_B = PIRE_B + \left(\frac{G}{T}\right)_{ET} + \beta_B - L_{OB} - L_{ASB} - L_{DAB} - L_{LLB}\text{z}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_B = 27.3404289 + 37.97 + 5 - 204{,}896 - 0{,}02943 - 0.5 - 4.63$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_B = -139.7450011\ dBWK^{-1}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_B = 1.06047367\ x10^{-14}$$

$$\frac{1}{(C/T)_B} = 9.429748503\ x10^{13}$$

- **Relación portadora a temperatura equivalente de ruido producto de la intermodulación en el amplificador de alta potencia del satélite.**

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{IMSAT} = PIRE_B + IM_{SATE} + 10\ Log 4\ x10^3 + 10\ Log\ K$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{IMSAT} = 27.3404289 \quad + 24 + 36.02 - 228.6$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{IMSAT} = -141.2395711\ dBWK^{-1}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{IMSAT} = 7.516971264\ x10^{-15}$$

$$\frac{1}{(C/T)_{IMSAT}} = 1.330323032\ x10^{14}$$

- **Relación portadora a temperatura equivalente de ruido producto de la interferencia de señales cocanales polarizadas ortogonalmente**

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{IMSAT} = \frac{C}{I} + 10\ Log\ B + 10\ Log\ K$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{IMSAT} = 27 + 10\ Log\ 56\ x10^6 - 228.6$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{IMSAT} = 27 + 77.481 - 228.6$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{IMSAT} = -124.1181197\ dBWK^{-1}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{IMSAT} = 3.874253437\ x10^{-13}$$

$$\frac{1}{(C/T)_{COORT}} = 2.581142448\ x10^{12}$$

- **Relación portadora a temperatura equivalente de ruido producto de la intermodulación en el amplificador de alta potencia de la estación terrena**

$$\left(\frac{C}{T}\right)_{IMET}$$

Para efectos del diseño no se tiene en cuenta, ésta se considera si la reducción de la potencia de salida del amplificador de alta potencia es menor de 7dB funcionando con portadores múltiples.

Una vez se tiene cada uno de los cálculos de relación portadora a temperatura equivalente de ruido, se procede a realizar la sumatoria para obtener la Relación portadora a temperatura equivalente de ruido total.

$$\frac{1}{(C/T)_T} = \frac{1}{(C/T)_S} + \frac{1}{(C/T)_B} + \frac{1}{(C/T)_{IMSAT}} + \frac{1}{(C/T)_{COORT}} + \frac{1}{(C/T)_{ETC}}$$

$$\frac{1}{(C/T)_T} = 2.909089682\ x10^{13} + 9.429748503\ x10^{13} + 1.330323032\ x10^{14} + 2.581142448\ x10^{12}$$

$$\frac{1}{(C/T)_T} = 2.590018275\ x10^{14}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_T = 3.860976618\ x10^{-15}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_T = -144.1330283\ dBWK^{-1}$$

- **Relación portadora a temperatura equivalente de ruido Proyectada**

$$\left(\frac{C}{T}\right)_P = -139.7450011\ \ dBWK^{-1}$$

Teniendo en cuenta que la temperatura equivalente de ruido total $-144.1330283\ dBWK^{-1}$, es menor que la temperatura equivalente de ruido proyectada $-139.7450011\ \ dBWK^{-1}$ el enlace Leticia – Bogotá no operará de manera adecuada, por lo que se debe aumentar la potencia de transmisión para garantizar el BER proyectado.

Se debe aumentar 4.388027285 $dBWK^{-1}$ (Diferencia entre la relación C/T proyectada y total), por lo tanto se tiene:

$$PIRE_O = 78.9988589\ \ dBW$$

$$PIRE_O = 78.9988589\ + 4.388027285$$

$$PIRE_O = 83.38688619\ dBW$$

Una vez se realiza el aumento de potencia para garantizar el BER proyectado, se tiene que la potencia del transmisor equivale a:

$$P_T = PIRE - G_T + L_t$$

$$P_T = 83.38688619\ \ - 59 + 3$$

$$P_T = 27.38688619\ dBW$$

$$\boldsymbol{P_T = 547.8840009\ W}$$

4.13. Red de tráfico para el enlace satelital

A continuación, se presenta la conexión de la red de comunicaciones detallando los equipos a utilizar para implementar el enlace satelital entre las ciudades de Leticia y Bogotá.

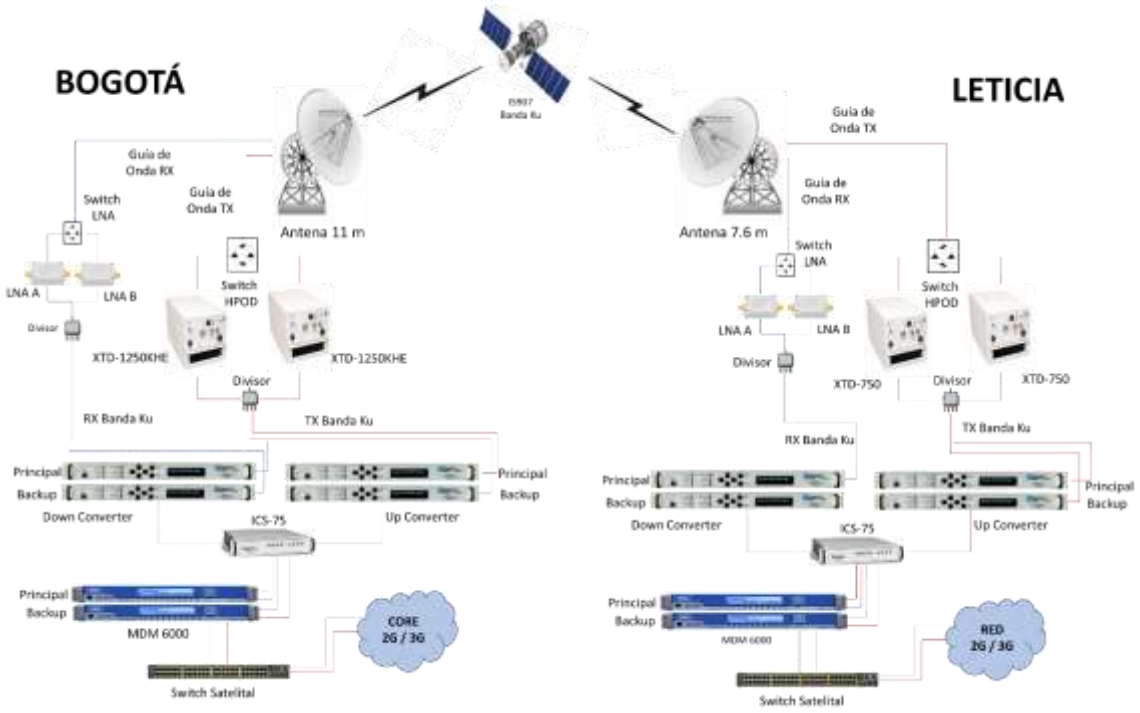


Imagen 47. Diseño del enlace satelital entre Bogotá y Leticia.

TRANSMISORES

Teniendo en cuenta las potencias obtenidas a través de los cálculos realizados, como son mayores a 400W se recomienda utilizar amplificadores de potencia de tubo de onda progresiva TWTA ya que permiten suministrar una ganancia mayor a las señales que se transmiten hacia el satélite.

En actualidad existen diversos fabricantes de estos dispositivos, entre los cuales se pueden mencionar Comtech, Teledyne, Ndsatcom, Cpii Satcom, Xicom Technology, entre otros. De acuerdo a las potencias que se requieren para los transmisores en Leticia: 550W y Bogotá: 850W, se considera el uso de los amplificadores descritos a continuación:

Leticia	Bogotá
	
Referencia: XTD-750 - Xicom Technology Banda C y Banda Ku - 750W Montaje de antena Amplificador de alta potencia Utiliza tubos de onda de desplazamiento (TWT) de colector de doble etapa de alta eficiencia. Algunos de los beneficios de este tipo de tubo son: menor consumo de energía principal, menores temperaturas de operación internas, mejora de la confiabilidad. Especificaciones técnicas: http://xicomtech.com/Portals/0/Documents/Products/XTD-750C-Ku%20Rev%209.pdf?ver=2016-03-01-162927-687	Referencia: XTD-1250KHE - Xicom Technology Banda Ku - 1250W Montaje de antena Amplificador de alta potencia El XTD-1250KHE incorpora colector de etapas múltiples de 1250W de potencia pico TWT de alta eficiencia. Es un amplificador de potencia compacto, autónomo, montado en antena, diseñado para una instalación de bajo costo y una larga vida útil. Especificaciones técnicas: http://xicomtech.com/Portals/0/Documents/Products/XTD-1250KHE%20Rev%2018.pdf?ver=2016-03-01-165505-463

CONCLUSIONES

Existen muchos factores que pueden afectar el diseño tanto de la red móvil como del enlace satelital: condiciones climáticas, topográficas, entre otras que no se tengan presentes en el proyecto pero que al momento de realizar un estudio en terreno deben ser las variables primordiales para que la cobertura que se espera sea eficiente y óptima en el servicio que se quiera ofrecer.

Otros parámetros que influyen en el alcance de la señal de transmisión de la red móvil son: La banda de frecuencia en que trabaje la radio base, entre mayor sea la frecuencia menor es la zona de cobertura; el tipo de terreno y los obstáculos debido a que restringen la cobertura en ciertas zonas; el modelo de propagación seleccionado, algunos están diseñados para zonas rurales y no tienen en cuenta las pérdidas ocasionadas por edificaciones; y la altura de las antenas, a menor altura la cobertura en sitios más alejados de la radiobase disminuye.

La cantidad de sectores, BTS para 2G y Nodos B para 3G estuvo sujeto a las limitantes de diseño planteado, en los que se trató de utilizar datos de diseño cercanos a los manejan actualmente por los operadores móviles, con el objetivo de garantizar buena cobertura, capacidad y calidad en el servicio.

Para el diseño del enlace satelital, teniendo en cuenta la ubicación geográfica Leticia y la probabilidad alta de lluvias en la ciudad, se decidió trabajar con una modulación más baja con respecto a la ciudad de Bogotá, con el fin de garantizar la disponibilidad y calidad del enlace ante condiciones climáticas adversas.

Por otra parte, debido a la gran capacidad que se necesitaba transmitir y recibir por el enlace satelital fue necesario trabajar en banda Ku en el satélite seleccionado, debido a que brinda mayor capacidad en los transpondedores a diferencia de la banda C que ofrece menor capacidad.

Debido a que la potencia de los transmisores es mayor a 400 W, se deben utilizar amplificadores de tubo de onda progresiva TWTA ya que permiten trabajar con un gran ancho de banda, ganancia y potencia de salida. Para los casos en que la potencia del transmisor sea menor a 400W se recomienda utilizar amplificadores de potencia de estado sólido SSPA.

REFERENCIAS

Comunicaciones Satelitales

Santos L., Gustavo. Redes VSAT. (s, f). Recuperado de http://accesogjsl.blogspot.com/2011/07/redes-vsat.html.

Pavez Mina, Rodrigo. Órbitas satelitales. (s. f). Ingeniería Civil Electrónica – Universidad Mayor. Recuperado de https://sites.google.com/site/chichin1985/telecomunicaciones/rbitas-satelitales.

MinTIC visitó Leticia para medir la calidad de los servicios móviles. (19 de enero de 2017). MINTIC, Gobierno de Colombia. Recuperado de https://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-article-47581.html.

Deloitte Colombia. Encuesta Global de Consumidores Móviles 2015 - Edición Colombia, La distracción de los móviles. (2015). Recuperado de https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/co/Documents/technology-media-telecommunications/Deloitte%20-20Consumidores%20m%C3%B3viles%202015%20Colombia(Baja).pdf

Leticia. DB City.com. (s. f). Recuperado de http://es.db-city.com/Colombia--Amazonas--Leticia

Geografía e historia de Leticia. (s. f). Recuperado de de http://off2colombia.com.co/leticia-geografia-historia

MDM6000 Satelite Modem. SHAPING THE FUTURE OF SATELLITE COMMUNICATIONS, NEWTEC. (s. f). Recuperado de https://www.newtec.eu/product/mdm6000-satellite-modem.

Intelsat 907 at 332.5° E. (s. f). Coverage Maps. INTELSAT, Envision. Connect. Transform. Recuperado de http://www.intelsat.com/fleetmaps/?s=IS-907.

Performance characteristics for intermediate data rate digital carriers using convolutional encoding viterbi encoding and QPSK modulation (QPSK/IDR). INTELSAT Earth Station Standars (IESS). Document IESS–308 (Rev. 9). (30 de Noviembre de 1998).

Características de funcionamiento de las estaciones terrenas cuyas normas no correspondan a ningún otro tipo y que tengan acceso al segmento espacial de Intelsat para servicios Nacionales e Internacionales. Normas para las Estaciones Terrenas de INTELSAT (IESS). Documento IESS-601 (Rev. 11). (7 de Octubre de 2002).

Technical Handbook for the Intelsat 907 Spacecraft In-Service. (19 de Abril de 2013). INTELSAT.

Andrew Earth Station Antennas - ES76K-1 7.6 Meter ESA. (7 de Abril de 2006). Recuperado de http://www.diomar.pl/pdf/ESA76_ASC_Signal_(ANDREW)_7_6m_antenna.pdf

11 M motorizada grande Cassegrain antena de satélite. (s. f). Recuperado de https://spanish.alibaba.com/product-detail/11m-big-motorized-cassegrain-satellite-antenna-1756855889.html.

ETSI EN 302 307 V1.2.1 (Agosto de 2009). European Standard (Telecommunications series). Recuperado de https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302300_302399/302307/01.02.01_60/en_302307v010201p.pdf

Calculadora para los ángulos de azimut y elevación. TRIAXMAN´S SATLEX Networks.

Moreno Serrano, Jose Andrés. Atenuación Específica por Lluvia y Gases. (s. f). Recuperado de https://es.scribd.com/document/242448740/Atenuacion-Especifica-por-Lluvia-y-Gases-final-docx.

Moncada D., Fermin JR, Atenuación por lluvia en un sistema de comunicación estación-satélite.(2008) Recuperado de: https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2954388.pdf

Recomendación ITU-R P.676-11. (Septiembre de 2016). Atenuación debida a los gases atmosféricos. Recuperado de https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.676-11-201609-I!!PDF-E.pdf.

Recomendación ITU-R P.838-3. Modelo de la atenuación específica debida a la lluvia para los métodos de predicción. (Cuestión UIT-R 201/3). Recuperado de https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.838-3-200503-I!!PDF-S.pdf

IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Curvas Intensidad Duración Frecuencia –IDF. (2017). Recuperado de: http://www.ideam.gov.co/curvas-idf

1250 Watt Ku-Band Antenna Mount High Power Amplifier. (S. f). Recuperado de http://xicomtech.com/Portals/0/Documents/Products/XTD-1250KHE%20Rev%2018.pdf?ver=2016-03-01-165505-463.

750 Watt C and Ku-Band Antenna Mount High Power Amplifier. (S. f). Recuperado de http://xicomtech.com/Portals/0/Documents/Products/XTD-750C-Ku%20Rev%209.pdf?ver=2016-03-01-162927-687.

Paredes G, J.C. Sistemas de telecomunicaciones - Planeación y cálculo de enlaces. (s.f). Recuperado de: Documento digital

Wayne Tomasi. Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Cuarta edición (2003). Editorial Prentice Hall. Recuperado de: Documento digital

Comunicaciones Móviles

Movilfacil. SMS de Voz. (Julio de 2011) Recuperado de:https://movilfacil.wordpress.com/2011/07/12/sms-de-voz/

SlideShare. Sistemas de comunicaciones móviles. (2014) Recuperado de: https://es.slideshare.net/edu395090/sistema-de-comunicaciones-moviles

Calpoviña. W. Sistemas de Segunda generación - Radiocomunicaciones espaciales. (s. f) Recuperado de: http://radioespoch.galeon.com/MATERIA/generacion2.pdf

Fernández A.,González D., y Rubio A. Telefonía Móvil - Transmisión y redes de datos. (Julio, 2002) Recuperado de: http://www.uhu.es/fernando.gomez/transydat_archivos/Movil.PDF

International Engineering Consortium. Global System for Mobile Cmmunication (GSM) (s. f) Recuperado de: http://www.uky.edu/~jclark/mas355/GSM.PDF

Agencia Nacional del Espectro (ANE). 4G. (Febrero, 2016). Recuperado de: http://www.ane.gov.co/index.php/2015-12-08-19-09-44/13-preguntas-y-respuestas-frecuentes/132-clasificacion-tematica-banda-de-38-ghz

Capítulo 3. GSM. (s.f). Recuperado de: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/hernandez_c_a/capitulo3.pdf

Sdrlatino. Introducción a la Tecnología de Acceso GSM. (Junio, 2013) Recuperado de: https://sdrlatino.wordpress.com/2013/06/28/introduccion-a-la-tecnologia-de-acceso-gsm/

Telecomunicaciones Móviles. (s.f) Recuperado de: https://books.google.com.co/books?id=ztTpTayFeSUC&pg=PT15&lpg=PT15&dq=sres+telecomunicaciones&source=bl&ots=JI-qY8YSTU&sig=QUEZi3cWIuFNJC0HMtQwZ7GDkyE&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjIqNWru5nWAhXB5SYKHfOkCH4Q6AEIQDAJ#v=onepage&q=sres%20telecomunicaciones&f=false

Campo, C., García R, C. Arquitecturas y tecnologías inalámbricas. Aplicaciones Móviles. Curso de Adaptación. Grado en Ingeniería de Sistemas Audiovisuales. Recuperado de: http://ocw.uc3m.es/ingenieria-telematica/aplicaciones-moviles/material-de-clase-2/inalambricos

International Telecommunication Union (ITU). About 3G Technology (Abril de 2011) Recuperado de: http://www.itu.int/osg/spu/ni/3G/technology/index.html

Guerrero I, J.A., Barba M, A. Policy-based Network Management Reference Architecture for an Integrated Environment WLAN-3G. (Agosto, 2008) Recuperado de: https://ieeexplore.ieee.org/document/4609922/

Stuart R, K. Proyecto de Investigación:"Telefonía Móvil de Tercera Generación". (Agosto de 2008) Recuperado de: http://profesores.elo.utfsm.cl/~agv/elo322/1s08/project/KennethStuart_Telefonia_Movil_3G.pdf

Obando O, J.J. Evolución de la tecnología celular en Colombia "Una aproximación a la tercera generación - 3G" (Marzo de 2008). Recuperado de: https://es.slideshare.net/luciana1010/evolucin-de-la-tecnologa-celular-en-colombia

Máster Móviles UA. Tecnologías para el desarrollo de aplicaciones móviles. (s. f). Recuperado de: https://mastermoviles.gitbooks.io/tecnologias2/content/conectividad_movil_tecnologias_3g,_4g,_wifi_y_bluetooth.html

Capítulo 1. Estructura de la red UMTS. (s. f) Recuperado de: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/fajardo_p_d/capitulo1.pdf

Muñoz J, L. Evolución de la red de transmisión de acceso móvil desde TDM a all-IP. (Mayo de 2013). Recuperado de: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/29405/Mu%C3%B1oz_Jim%C3%A9nez_Laura.pdf?sequence=1

Aguirre U, F.J. "Propuesta de arquitectura, protocolos y funcionamiento de la red de acceso UMTS para México" (Junio de 2009) Recuperado de: https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/4234/PROPUESTARQUITECTURA.pdf?sequence=1

SSR.Universidad Politécnica de Madrid. Capítulo 5-2. GPRS. (s. f) Recuperado de: https://www.iesdonbosco.com/data/electronica/Tr_52_GPRS.pdf

IAC. Universidad Politécnica de Madrid. Comunicaciones Móviles. GPRS. http://ocw.upm.es/teoria-de-la-senal-y-comunicaciones-1/comunicaciones-moviles-digitales/contenidos/Presentaciones/GPRS-07.pdf

Radio-Electronics.com. EDGE MCS Coding Schemes. Recuperado de: https://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/gsm-edge/mcs-coding-schemes-classes.php

Albarracín, L. Material de clase – Sistemas de Telecomunicaciones Móviles II – Universidad Distrital Francisco José de Caldas. (2018) Recuperado de: Clases y documentos digitales.