

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ÁNDRES

FACULTAD DE TECNOLOGÍA

CARRERA: ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES



NIVEL LICENCIATURA

EXAMEN DE GRADO

TRABAJO DE APLICACIÓN

DISEÑO DE RADIO ENLACE CORIPATA DORADO PARA VIVA

POSTULANTE: SULMA REYNA NINA QUISPE

LA PAZ – BOLIVIA

2012

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por concederme la vida y guiar mis pasos, a los docentes que conforman la Carrera de Electrónica y Telecomunicaciones, A mis padres, porque gracias a ellos se concluyó esta carrera.

## **DEDICATORIA**

Este Proyecto de aplicación, va dedicado a toda la comunidad estudiantil de nuestra carrera para que ellos puedan tener una referencia de cómo es el diseño de un Radioenlace sus características, sus funciones y los equipos que se utilizan. Para su instalación.

## INDICE GENERAL

### CAPITULO 1

#### INTRODUCCION

1.1 RESUMEN DEL PROYECTO	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.3. JUSTIFICACION DEL PROYECTO	6
1.4 .OBJETIVOS	6
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	6
1.4.2 OBJETIVO ESPECIFICO	7
1.5. METODOLOGIA	7

### CAPITULO 2

#### FUNDAMENTACION TEORICA

2.1. TELECOMUNICACIONES	8
2.1.2 SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES	8
2.1.3 SERVICIO DE TELECOMUNICACIONES	8
2.1.4 SERVICIO PÚBLICO DE TELECOMUNICACIONES	8
2.2. CLASIFICACION SEGÚN EL MEDIO DE PROPAGACIÓN	9
2.2.1 TELECOMUNICACIONES TERRESTRES	9
2.2 .2 TELECOMUNICACIONES RADIOELECTRICAS	9
2.2.3 TELECOMUNICACIONES SATELITALES	9
2.3 TELEFONIA CELULAR	9
2.3.1 FUNCIONAMIENTO DE LA TELEFONIA CELULAR	9

2.3.1.1 EL SUBSISTEMA DE LA ESTACION BASE (BSS)	13
2.3.1.2 EL SUSBSISTEMA DE CONMUTACION Y RED (NSS)	13
2.3.1.3 EL CENTRO DE OPERACIONES Y MANTENIMIENTO (OSS)	15
2.4 RED CELULAR	15
2.5 PRINCIPIOS DE RADIO PROPAGACION	16
2.6 ESPACIO LIBRE	16
2.7 RADIACION ELECTROMAGNETICA	17
2.8 RADIO ENLACE	17
2.9 HADWARE EN TELEFONIA CELULAR	18
2.9.1. TIPOS DE TORRES	19
a)	T
ORRE AUTOSOPORTADA	20
b)	T
ORRE ARRIOSTRADA	21
c)	M
ONOPOSTE	22
2.9.1.1 INFRAESTRUCTURA DE LAS RADIO-BASES	24
2.9.1.2 ESTRUCTURA DE LA TORRE	25
2.9.1.3 PUESTA A TIERRA	25
<b>CAPITULO 3</b>	
<b>DESARROLLO DEL TRABAJO</b>	
3.1. EQUIPOS INSTALADOS EN LA ESTACION DE DORADO (CHOACOLLO)	27

a) PBC-MU	27
b) PBC-BU	28
c) MU	29
d) RRU	31
3.2 HUAWEI	32
a) ODU	33
b) IDU	33
c) ANTENA	33
3.3 FIBRA OPTICA	34
3.4. ESTACION DORADO CHOACOLLO	35
3.5 LOCALIDAD DE CORIPATA Y COMUNIDADES ALEDAÑAS	36
3.6. CALCULO DEL ENLACE	37
3.6.1 CÁLCULO DE LA DISTANCIA DEL ENLACE	39
3.6.2 ATENUACIÓN DE TRAYECTORIA	39
3.6.3 ATENUACIÓN EN LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN	40
3.6.4 PÉRDIDA NETA DEL TRAYECTO	40
3.6.5 GANANCIA DEL SISTEMA	40
3.6.6 POTENCIA DE RECEPCIÓN	41
3.6.7 MARGEN DE UMBRAL (MU)	41
3.6.8 INDISPONIBILIDAD DEL SISTEMA	41
3.6.9 MARGEN DE DESVANECIMIENTO $F_M$	42

3.6.10 POTENCIA MINIMA DE RECEPCION	42
3.6.11 ANALISIS DE RUIDO	43
3.6.12 POTENCIA DE RUIDO	43
3.6.13 DENSIDAD DE POTENCIA DE RUIDO	43
3.6.14 POTENCIA DE RUIDO TOTAL	43
3.6.15 VOLTAJE DE RUIDO	44
3.6.16 RELACION SEÑAL RUIDO	44
3.6.17 CALCULO DE LAS ZONAS DE FRESNEL	44
3.6.18 CÁLCULO DEL ÁNGULO AZIMUTAL	45
3.6.19 CÁLCULO DEL ÁNGULO DE ELEVACIÓN	46
3.6.20 BALANCE ENERGETICO	47
3.6.21 PRESUPUESTO ECONOMICO	47
3.6.22 SIMULACION DEL ENLACE	48
3.7 TABLAS COMPARATIVAS DE LOS CÁLCULOS TEÓRICOS VS. VALORES OBTENIDOS DE LA SIMULACIÓN	55
<b>CAPITULO 4</b>	
4. CONCLUSIONES	56
4.1 RECOMENDACIONES	57
5. BIBLIOGRAFIA	57

## INDICE DE FIGURAS

Figura N°1a. Radioenlace	1
Figura N°2a. Fotografía desde donde se realizara el Radioenlace (Coripata)	5
Figura N° 2b .Fotografía de Coripata y sus Comunidades Aledañas	5
Figura N° 3 Arquitectura del Sistema GSM	12
Figura N° 4. Dispositivos necesarios para la transferencia de energía Electromagnética al espacio libre	16
Figura N°5. Trayectoria completa de transmisión sobre transmisor y receptor	17
Figura N° 6 Mapa para las coordenadas; longitudes y latitudes	18
Figura N° 7 Emisores y Receptores de Radioenlace.	18
Figura N° 8 Dispositivos alojados en el gabinete.	19
Figura N° 9. Torre autosoportada	21
Figura N°10. Torre arriostrada	22
Figura N°11. Torre Monoposte	23
Figura N°12 Estación Base de una Torre del cerro de Choacollo	24
Figura N°13 Estructura de una torre	25

Figura N°14. Fotografía de la PBC-MU con su banco de 4 baterías	27
Figura N°15. Conexión de las baterías en la PBC-MU (Manual de Instalación Ericsson2111)	28
Figura N°16. PBC-BU (Manual de instalación Ericsson 2111).	28
Figura N°17. Conexión de baterías en la PBC-BU (Manual de instalación Ericsson 2111).	29
Figura N°18 Partes de la MU (Manual de instalación Ericsson)	29
Figura N°19. Fotografía real de la MU.	30
Figura N° 20. Interfaces de conexión (Manual de instalación Ericsson).	30
Figura N°21. Interfaces de conexión de la RRU (Manual de instalación Ericsson).	31
Figura N°22. Componentes del equipo Huawei OPTIX RTN 620 (manual de instalación OPTIX RTN 620 Huawei).	32
Figura N° 23. Fotografía de ODUS (manual de instalación OPTIX RTN 620 Huawei).	33
Figura N°24. Fotografía de la Unidad Interna (manual de instalación OPTIX RTN 620 Huawei).	33
Figura N° 25. Antena de Radio Enlace Huawei OPTIX RTN 620	34
Figura N°26 Cable de Fibra Óptica con una línea de Tx y otra de Rx	35
Figura N° 27 Torre de la Estación de Dorado (Choacollo)	35
Figura N°28. Fotografía de los equipos de la radio base Dorado (Choacollo)	36
Figura N°29. Fotografía de la localidad de Coripata y comunidades aledañas	37
Figura N° 30 Zonas de fresnel	45

Figura N°31 Gráfica de ángulos de elevación	46
Figura N 32 Diagrama de Norton	47
Figura N° 33. Sitios del Radio Enlace Ubicados en Google Earth	49
Figura °34 Obtención de Lugar Geográfico del Radio Enlace Mediante el Radio Mobile.	49
Figura N°35 Datos de la red	50
Figura N° 36 Parámetros del Enlace	50
Figura N°37 Perfil del Radio Enlace	51
Figura N°38 Vista extraída del perfil del Radio enlace	51
Figura N°39 Parámetros de la Señal Promedio	52
Figura N° 40 Parámetros del Umbral de Recepción	52
Figura N°41 Parámetros del Radioenlace	53
Figura N°42 Características del Radioenlace	53
Figura N°43 Radioenlace visto desde Google Earth	54

## INDICE DE TABLAS

Tabla N°1. Valores de operación de la MU (Manual de instalación Ericsson)	31
Tabla N°2. Valores de operación de la RRU (Manual de instalación Ericsson).	32
Tabla N° 3 Costo de los Materiales	47
Tabla N° 4 Comparación de Datos	55



### 1.1 RESUMEN DEL PROYECTO

Hoy en día los Sistemas de Radiocomunicaciones nos rodean por todas partes, entre ellos se encuentran los ya habituales sistemas de telefonía móvil, se unen las Redes de datos inalámbricas, la televisión digital terrestre o los Radio enlaces punto a punto, ahora para el correcto funcionamiento de estos sistemas resulta crucial un diseño adecuado del interfaz radioeléctrico y el diseño de Radio enlaces es una disciplina que involucra toda una serie de cuestiones tales como la elección de la banda de frecuencias, el tipo de antenas y los equipos de radiocomunicación, el cálculo del balance de potencias, la estimación de los niveles de ruido e interferencia o el conocimiento de las distintas modalidades y fenómenos de propagación radioeléctrica, entre otras.

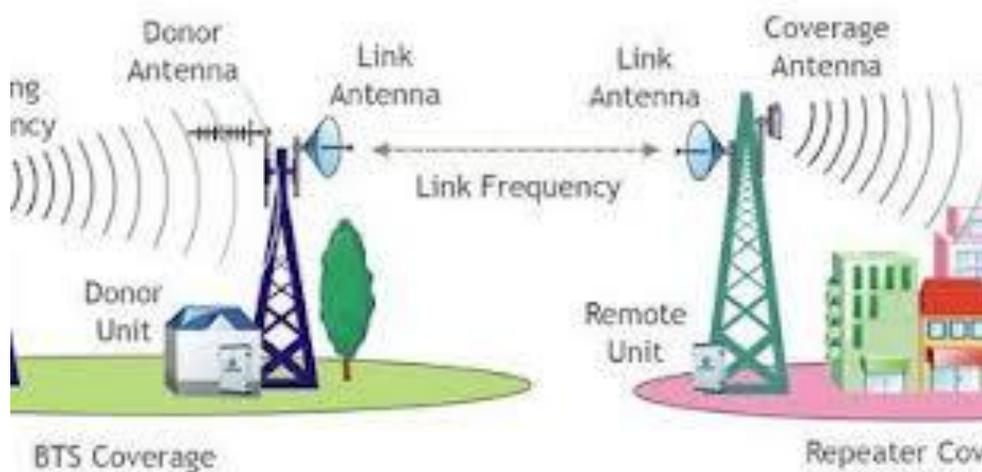


Figura N°1a. Radioenlace

En el diseño de los Sistemas de Radiocomunicaciones es preciso manejar informaciones detallada del entorno geográfico y por otra parte existe información que es necesaria para calcular la propagación radioeléctrica, como es el relieve

del terreno, el tipo de suelo, ubicación de los picos montañosos, etc y por otra parte, también resultan interesantes otros tipos de información que aunque no son necesarios para realizar cálculos tienen interés a la hora de obtener una representación o realizar análisis de los resultados obtenidos, además se trata de información sobre los límites nacionales, provinciales y municipales, carreteras, ríos, núcleos de población, etc.

En el diseño de Reveladores Radioeléctricos con visibilidad directa deben tenerse en cuenta varios efectos vinculados con la propagación, estos incluyen: Desvanecimiento por difracción debida a la obstrucción del trayecto por obstáculos en condiciones de propagación adversas, atenuación debido a los gases atmosféricos, desvanecimiento debido a la propagación atmosférica por trayectos múltiples o a la dispersión del haz (conocida generalmente como desenfoque) asociadas con la existencia de capas refractivas anormales, desvanecimientos debido a la propagación por los trayectos múltiples que se originan por reflexiones en superficies, atenuación debida a las precipitaciones o a otras partículas sólidas presentes en la atmósfera, variación del ángulo de llegada debido al terminal de Receptor y del ángulo de salida en el terminal Transmisor debida a la Refracción y distorsión de la señal debida a los desvanecimientos selectivos en frecuencia y a retardos durante la propagación por trayectos múltiples.

Se han adoptados métodos de predicción sencillos para los efectos de propagación, que se deben tener en cuenta en la mayoría de los enlaces fijos con visibilidad directa.

Con el presente trabajo nosotros pretendemos a través del mismo exponer algunos de los aspectos a tener en cuenta en el análisis de los diferentes tipos de trayectos, primeramente calcularemos la potencia del Receptor a partir del diseño del perfil del terreno utilizando el papel del factor de curvatura estándar ( $K=4/3$ ) de la tierra, con la representación de nuestro perfil determinaremos las alturas de las antenas a usar en nuestro Radio enlace tomando algunas consideraciones a la

hora de decidir que por ciento y cuál será la Zona de Fresnel a liberar, así como el factor económico entre otros.

## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En el pueblo de Coripata – Nor Yungas y en comunidades adyacentes no existe Cobertura VIVA, pero si existe señal de ENTEL y TIGO, observando esta desventaja este trabajo propone dimensionar, calcular y diseñar un radioenlace para telefonía celular para la empresa VIVA, puesto que dicha empresa de telefonía celular al igual que las otras dos empresas, también tiene sus abonados o clientes los cuales se ven perjudicados ante esta problemática.

La topografía de la región es irregular, típica de los Yungas, con una temperatura promedio de 25 grados centígrados.

El municipio de Coripata limita al este con los municipios de La Asunta y Chulumani, al oeste con Coroico, al norte con la provincia Caranavi y al sur con Yanacachi y Chulumani.

La planificación del enlace radioeléctrico de un sistema de radiocomunicaciones comienza con el cálculo del alcance. Para ello se deben conocer la banda de frecuencias, las características climáticas de la zona y las especificaciones técnicas de los equipos de radio: potencia del transmisor, ganancia de las antenas, sensibilidad del receptor, tasa de error, disponibilidad, etc. Este cálculo del alcance del sistema constituye una primera estimación teórica que deberá verificarse tras la instalación de los equipos. La utilización de aplicaciones informáticas de simulación con cartografías digitales del terreno y de los edificios constituye una potente herramienta de ayuda en la planificación. Valiéndose de las mismas es posible determinar las mejores localizaciones para instalar las antenas y estimar su alcance o cobertura, así como los posibles niveles de interferencia que provienen de otros emplazamientos vecinos, especialmente en el caso de sistemas celulares o de acceso radio punto a

multipunto. Posteriormente, las visitas a los posibles emplazamientos permiten determinar su aptitud para albergar los equipos de radiocomunicaciones.

La tecnología celular dio grandes pasos desde que se implementaron los sistemas celulares si bien antes solo se podía llamar o recibir llamadas, existían grandes desventajas por ejemplo el teléfono móvil no contaba con mucha cobertura, además tenía gran volumen o los operadores cobraban al que realizaba y también al que la recibía la llamada. Luego la cobertura fue evolucionando, se fue extendiendo y ahora contamos con aparatos celulares mucho mas compactos y decidieron que solo cobrarían al que realiza la llamada, además no cambio solo eso sino que también mejoraron los servicios, se fueron adicionando aplicaciones como mensajes de texto, mensajes multimedia, video llamadas e inclusive se puede utilizar el celular como modem de internet o se puede navegar por el internet desde ellos, realmente gozamos de grandes beneficios con la telefonía móvil en las ciudades, pero con todo lo mencionado nacen algunas preguntas: ¿qué hay del área rural? ¿será que gozan de los mismos beneficios?; la respuesta inmediata es que en el área rural existen obstáculos en cuanto a este servicio ya que muchas poblaciones no cuentan con el servicio de telecomunicaciones, no pueden comunicarse fácilmente con sus familiares o simplemente no pueden comercializar sus productos y si tienen acceso a un teléfono lo hacen mediante una estación VSAT (Very Small Aperture Terminal ) o (Terminal de Apertura Muy Pequeña ) que tiene grandes limitaciones una de ellas es que existe un solo punto para realizar o recibir llamadas eso quiere decir que lo tienen que compartir entre todos los integrantes de la comunidad y ahí se pierde el principio de movilidad otro inconveniente es que no pueden contar con este servicio todo el tiempo ya que estos puntos los cuida un encargado el cual tiene la responsabilidad de abrir y cerrar el recinto en un determinado horario, generalmente estos puntos se encuentran en las plazas o lugares principales de la población.

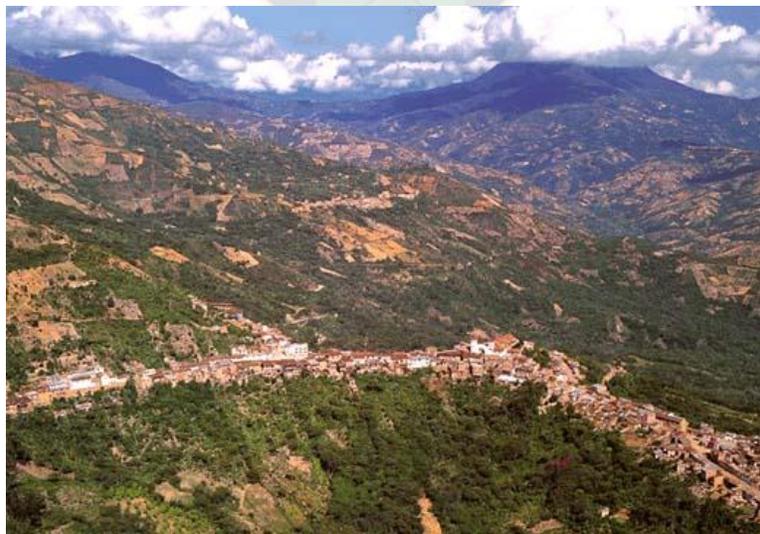
Los radio enlaces son redes de acceso que interconectan los distintos puntos de los abonados o repetidores a una estación Central, es un conjunto de

elementos y dispositivos basados en instalaciones que permiten la interconexión de un sistema.

Luego se diseñara el radioenlace, utilizando el software radio Mobile, donde se analizara las distancia entre los puntos, perdidas por distintos factores, ganancias de antenas, topografía del terreno, los niveles de potencia de recepción etc.



**Figura N°2a.** Fotografía desde donde se realizara el Radioenlace (Coripata)



**Figura N° 2b** .Fotografía de Coripata y sus Comunidades Aledañas

### **1.3. JUSTIFICACION DEL PROYECTO**

El teléfono móvil es en la actualidad la herramienta de comunicación por excelencia y su futuro está garantizado. De Norte a Sur, de Este a Oeste, ya existen en todo el planeta más de 4,5 millones de usuarios, según el informe de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (IUT). Si la tendencia continúa en la misma línea, todo indica que el mercado de la telefonía móvil seguirá expandiéndose, sobre todo en países emergentes, como lo es Bolivia.

En estas zonas en vías de desarrollo, donde las redes inalámbricas son a veces la única forma posible de conectar a las personas, hace que sea necesario proyectos en los que se empleen recursos económicos destinados a la ampliación de redes de telefonía celular a las áreas rurales. Esta implantación implicaría un desarrollo para estos sectores, además de facilitarles diversos aspectos relacionados con la economía, salud y difusión de información con otras áreas también limitadas en cuanto a beneficios de infraestructura tecnológica se refiere.

Los teléfonos móviles representan el caso más exitoso de como tender un puente sobre la brecha digital, ofreciendo beneficios económicos tangibles y actuando como agentes de movilización social a través del mejoramiento de la comunicación. Desde su aparición y rápida expansión en el medio rural de muchos países en desarrollo, la telefonía móvil ha constituido una verdadera revolución. En este sentido, este trabajo pretende exponer una alternativa que permita la ampliación de la telefonía celular a las áreas rurales.

### **1.4 .OBJETIVOS**

#### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL.-**

- Diseñar un sistema de radioenlace para telefonía celular para la empresa VIVA para Coripata y comunidades adyacentes de la Provincia Nor Yungas, del Departamento de La Paz.

#### **1.4.2 OBJETIVO ESPECIFICO.-**

Los objetivos específicos del presente proyecto son los siguientes:

- Llevar cobertura de la señal de VIVA para Coripata y comunidades aledañas en la provincia Nor Yungas, del Departamento de La Paz..
- Realizar los cálculos teóricos para el radioenlace, con todas las herramientas y conocimientos que se adquirieron en la Carrera de Electrónica y Telecomunicaciones.
- Analizar y verificar el sitio exacto donde se ubicará el radioenlace y realizar el survey.
- Tomar la señal del radio enlace de la comunidad de Dorado del cerro de Choacollo.
- Realizar la simulación de la línea de trayectoria del radioenlace, mediante Radio Mobile.
- Describir las diferentes etapas de la aplicación del programa Radio Mobile y Link Planner para realizar una simulación de trayectoria de enlace.

#### **1.5. METODOLOGIA**

El tipo de metodología a desarrollar en dicho proyecto es de la investigación o estudio descriptivo. Porque se hace una descripción de las características del diseño del Radioenlace para Telefonía Celular móvil; como también, la explicación detallada de los equipos y materiales requeridos para la ejecución del presente proyecto.

## **2.1. TELECOMUNICACIONES**

El termino Telecomunicaciones, se refiere a todo procedimiento que permite a un usuario hacer llegar a uno o varios usuarios determinados (ej. telefonía) o eventuales (ej. radio, televisión), información de cualquier naturaleza (documento escrito, impreso, imagen fija o en movimiento, videos, voz, música, señales visibles, señales audibles, señales de mandos mecánicos, etc.), empleando para dicho procedimiento, cualquier sistema electromagnético para su transmisión y/o recepción (transmisión eléctrica por hilos, radioeléctrica, óptica, o una combinación de estos diversos sistemas)

### **2.1.2 SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES**

Es el conjunto de equipos y enlaces tanto físicos como electromagnéticos, utilizables para la prestación de un determinado servicio de telecomunicaciones.

### **2.1.3 SERVICIO DE TELECOMUNICACIONES**

Es la actividad desarrollada bajo la responsabilidad de determinada empresa o entidad, para ofrecer a sus usuarios una modalidad o tipo de telecomunicaciones, cuya utilización es de interés para dicho usuario.

### **2.1.4 SERVICIO PÚBLICO DE TELECOMUNICACIONES**

Es aquél servicio que es brindado de manera general a todos los pobladores de un país, el encargado de brindarlo es el Estado, pero éste puede darlo en concesión a empresas privadas, pero siempre regulándolo.

## **2.2. CLASIFICACION SEGÚN EL MEDIO DE PROPAGACIÓN**

### **2.2.1 TELECOMUNICACIONES TERRESTRES**

Son aquellas cuyo medio de propagación son líneas físicas, estas pueden ser cables de cobre, cable coaxial, guía de ondas, fibra óptica, par trenzado, etc.

### **2.2 .2 TELECOMUNICACIONES RADIOELECTRICAS**

Son aquellas que utilizan como medio de propagación la atmósfera terrestre, transmitiendo las señales en ondas electromagnéticas, ondas de radio, microondas, etc. dependiendo de la frecuencia a la cual se transmite.

### **2.2.3 TELECOMUNICACIONES SATELITALES**

Son aquellas comunicaciones radiales que se realizan entre estaciones espaciales, entre estaciones terrenas con espaciales, entre estaciones terrenas (mediante retransmisión en una estación espacial). Las estaciones espaciales se encuentran a distintas alturas fuera de la atmósfera.

## **2.3 TELEFONIA CELULAR**

Telefonía Móvil Está formada por dos grandes partes: una red de comunicaciones y los terminales Teléfono Móvil Definición de teléfono móvil es un dispositivo inalámbrico electrónico que permite tener acceso a la red de telefonía celular o móvil.

La telefonía móvil, también llamada telefonía celular, básicamente está formada por dos grandes partes: una red de comunicaciones (o red de telefonía móvil) y los terminales (o teléfonos móviles) que permiten el acceso a dicha red.

### **2.3.1 FUNCIONAMIENTO DE LA TELEFONIA CELULAR**

Es posible gracias a la interconexión entre centrales móviles y públicas. Según las bandas o frecuencias en las que opera el móvil, podrá funcionar en una parte u otra.

Consiste en la combinación de una red de estaciones transmisoras-receptoras de radio y una serie de centrales telefónicas de conmutación que posibilita la comunicación entre terminales telefónicos o entre terminales portátiles y teléfonos de la red fija tradicional. La comunicación telefónica es posible gracias a la interconexión entre centrales móviles y públicas.

La telefonía móvil consiste en la combinación de una red de estaciones transmisoras-receptoras de radio (repetidores, estaciones base o BTS) y una serie de centrales telefónicas de conmutación de 1er y 5º nivel (MSC y BSC respectivamente), que posibilita la comunicación entre terminales telefónicos portátiles (teléfonos móviles) o entre terminales portátiles y teléfonos de la red fija tradicional.

En su operación el teléfono móvil establece comunicación con una estación base, y a medida que se traslada, los sistemas computacionales que administran la red van cambiando la llamada a la siguiente estación base, en forma transparente para el usuario. Es por eso que se dice que las estaciones base forman una red de celdas, semejante a un panal de abeja, sirviendo cada estación base a los equipos móviles que se encuentran en su celda.

Los teléfonos celulares, por sofisticados que sean y luzcan, no dejan de ser radio transmisores personales.

Siendo un sistema de comunicación telefónica totalmente inalámbrica, los sonidos se convierten en señales electromagnéticas, que viajan a través del aire, siendo recibidas y transformadas nuevamente en mensaje a través de antenas repetidoras o vía satélite.

Un teléfono celular es un dispositivo dual, esto quiere decir que utiliza una frecuencia para hablar, y una segunda frecuencia aparte para escuchar.

Un teléfono celular puede utilizar 1664 canales. Estos teléfonos también operan con «células» (o «celdas») y pueden alternar la célula usada a medida que el teléfono es desplazado.

Sin embargo, el tamaño de las células puede variar mucho dependiendo del lugar en que se encuentre. Las estaciones de base se separan entre 1 a 3 Km. en zonas urbanas, aunque pueden llegar a separarse por más de 35Km en zonas rurales. En zonas muy densamente pobladas o áreas con muchos obstáculos (como ser edificios altos), las células pueden concentrarse en distancias cada vez menores.

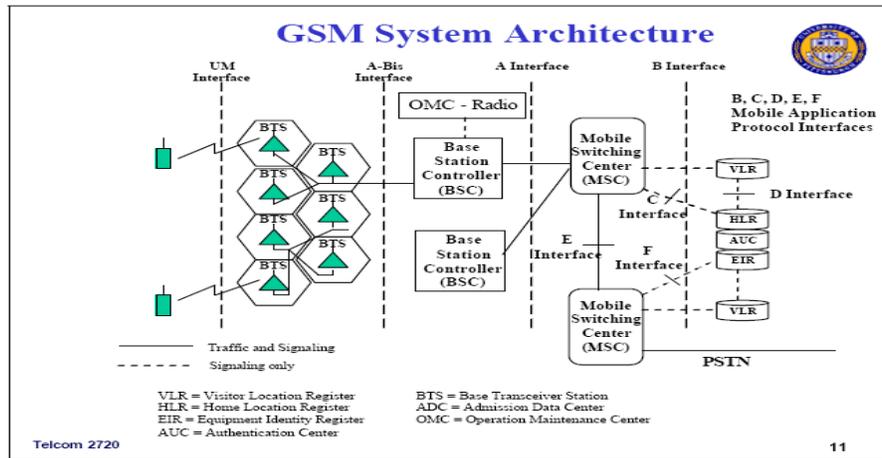
Las transmisiones de las estaciones base y de los teléfonos no alcanzan una distancia más allá de la célula. Es por esto que cada celda puede utilizar las mismas frecuencias sin interferir unas con otras.

Las transmisiones de la base central y de los teléfonos en la misma celda no salen de ésta. Por lo tanto, cada celda puede reutilizar las mismas 59 frecuencias a través de la ciudad.

La tecnología celular requiere un gran número de estaciones base para ciudades de cualquier tamaño. Una ciudad típica grande puede tener cientos de torres emisoras. Pero debido a que hay tanta gente utilizando teléfonos celulares, los costos se mantienen bajos para el usuario. Cada portador en cada ciudad tiene una oficina central llamada MTSO o (PSTN). Esta oficina maneja todas las conexiones telefónicas y estaciones base de la región.

Cuando el usuario desea realizar una llamada, el teléfono celular envía un mensaje a la torre solicitando una conexión a un número de teléfono específico. Si la torre dispone de los suficientes recursos para permitir la comunicación, un dispositivo llamado “switch” conecta la señal del teléfono celular a un canal de la red de telefonía pública. La llamada en este momento toma un canal inalámbrico

así como un canal en la red de telefonía pública que se mantendrán abiertos hasta que la llamada se concluya.



**Figura N° 3** Arquitectura del Sistema GSM

La Estación Móvil o terminal, contiene la tarjeta SIM que es utilizada para identificar al usuario dentro de la red, el mismo representa normalmente la única parte del sistema completo que es vista por el abonado. Existen estaciones móviles de muchos tipos como las montadas en vehículos y equipos portátiles. Pero las más desarrolladas son los terminales de mano (Teléfonos Celulares).

El SIM confiere movilidad personal al usuario de la tarjeta, permitiéndole acceder a los servicios de la red independientemente del teléfono móvil que use o su localización. El SIM puede ser protegido contra uso indebido a través de un código (PIN) que hay que marcar cada vez que se conecta el móvil con el SIM insertado. Existe además un número que identifica cada terminal individualmente, el International Mobile Subscriber Identity (IMEI), pero que es independiente del SIM.

### **2.3.1.1 EL SUBSISTEMA DE LA ESTACION BASE (BSS)**

Es la entidad responsable del establecimiento de las comunicaciones con las estaciones móviles que se encuentran dentro de su área de influencia. Esta área de influencia puede ser constituida por una o más celdas de radio, cada ella conforma una Estación Base. Esta misma está constituida por la BTS y la BSC.

La BTS o estación-base controla la conexión radio entre el teléfono móvil y la red y es también conocida como célula, ya que cubre una determinada área geográfica. Una BSS está compuesta por dos elementos: el BTS (Base Transceiver Station) y el BSC (Base Station Controller). Cada BSS puede tener una o más BTS. Las BTS albergan el equipo de transmisión / recepción (los TRX o transceivers) y gestionan los protocolos de radio con el terminal móvil. En áreas urbanas existen más BTS que en zonas rurales y en algunos casos con características físicas o geográficas particulares (como por ejemplo, túneles) son colocados re transmisores para garantizar el servicio. Cada estación utiliza técnicas digitales para permitir que varios usuarios se conecten a la red, así como para permitir que hagan y reciban llamadas simultáneamente. Esta gestión se denomina multiplexing.

El BSC administra los recursos de radio de una o más BTS. Entre sus funciones se incluyen el handoff (que ocurre cuando el utilizador se mueve de una célula para otra, permitiendo que la comunicación se mantenga), el establecimiento de los canales de radio utilizados y cambios de frecuencias. Finalmente, establece la comunicación entre el móvil y el Mobile Service Switching Center (MSC), el corazón del sistema GSM.

### **2.3.1.2 EL SUBSISTEMA DE CONMUTACION Y RED (NSS)**

La función principal del NSS es gestionar las comunicaciones entre los usuarios de un punto "A" a un punto "B" para hacer este trabajo la NSS se divide en:

El MSC, como ya fue referido, es el centro de la red, a través del que es hecha la comunicación entre una llamada realizada de un móvil hacia las otras redes fijas (las analógicas PSTN o digitales ISDN) o móviles. El nudo en el que se encuentra posee además una serie de equipos destinados a controlar varias funciones, como el cobro del servicio, la seguridad y el envío de mensajes SMS.

El Home Location Register (HLR) contiene toda la información administrativa sobre el cliente del servicio y la localización actual del terminal. Es a través del HLR que la red verifica si un móvil que se intenta comunicar posee un contrato de servicio válido. Si la respuesta es afirmativa el MSC envía un mensaje de vuelta al terminal informándole que está autorizado a utilizar la red. El nombre de la operadora aparece entonces en pantalla, informando que se puede efectuar y recibir llamadas. Cuando el MSC recibe una llamada destinada a un móvil él va al HLR verificar la localización. Paralelamente, el terminal de tiempos envía un mensaje para la red, para informarla del sitio donde se encuentra (este proceso es denominado polling).

El Visitor Location Register (VLR) es utilizado para controlar el tipo de conexiones que un terminal puede hacer. Por ejemplo, si un usuario posee restricciones en las llamadas internacionales el VLR impide que estas sean hechas, bloqueándolas y enviando un mensaje de vuelta al teléfono móvil informando al usuario.

El Equipment Identity Register (EIR) y el Authentication Center (AC) son utilizados ambos para garantizar la seguridad del sistema. El EIR posee una lista de IMEI de terminales que han sido declarados como robados o que no son compatibles con la red GSM. Si el teléfono móvil está en esa lista negra, el EIR no permite que se conecte a la red. Dentro del AC hay una copia del código de seguridad del SIM. Cuando ocurre la autorización el AC genera un número aleatorio que es enviado para el móvil. Los dos aparatos, de seguida, utilizan ese número, junto al código del SIM y un algoritmo de encriptación denominado A3, para crear otro número que es enviado de nuevo para el AC. Si el número enviado

por el terminal es igual al calculado por el AC, el utilizador es autorizado a usar la red.

El Short Message System Center (SMSC) es responsable por generar los mensajes cortos de texto. Otros equipos utilizados en redes GSM pueden adjuntar el recaudo de llamadas, la conexión a Internet, la caja de mensajes de voz, etc.

### **2.3.1.3 EL CENTRO DE OPERACIONES Y MANTENIMIENTO (OSS)**

Los OSS se conectan a diferentes NSS y MSC permitiendo integrar con toda la red de tecnología celular (ISDN/PSTN), la tendencia actual en estos sistemas es que el incremento del número de BSS, se pretende delegar funciones que actualmente se encarga de hacerlas el subsistema OSS en las BTS, de manera que se reduzcan los costos de mantenimiento del sistema.

## **2.4 RED CELULAR**

Una red de celdas o red celular es una red formada por celdas de radio (o simplemente celdas) cada una con su propio transmisor, conocidas como estación base. Estas celdas son usadas con el fin de cubrir diferentes áreas para proveer cobertura de radio sobre un área más grande que el de una celda. Las redes de celdas son inherentemente asimétricas con un conjunto fijo de transceptores principales, cada uno sirviendo una celda y un conjunto de transceptores distribuidos (generalmente, pero no siempre, móviles).

Las empresas de telecomunicaciones plantean actualmente tres principios básicos para desarrollar negocios: Simplicidad, Confiabilidad y Eficiencia.

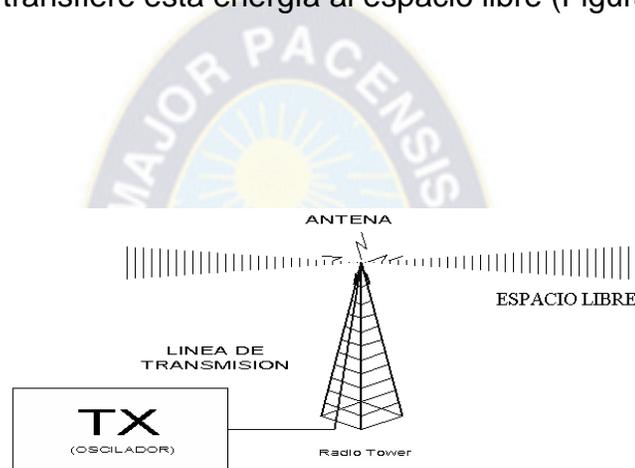
La **Simplicidad** se traduce en qué tan simple resulta desarrollar servicios o productos en una red o tecnología de punta.

La **Confiabilidad** se traduce en qué tan capaz es una red o tecnología de soportar cambios, no solo de usos (tráficos), sino de calidad de prestaciones.

La **Eficiencia** de una nueva red o tecnología no solo consiste en la mejora del rendimiento, sino también se traduce en la reducción de costos y en la simple evolución tecnológica sin afectar los servicios o productos prestados.

## 2.5 PRINCIPIOS DE RADIO PROPAGACION

La energía de radiofrecuencia que es generada por dispositivos electrónicos (oscilador) es guiada por una línea de transmisión hacia un dispositivo emisor llamado Antena, que transfiere esta energía al espacio libre (Figura N° 4).



**Figura N° 4.** Dispositivos necesarios para la transferencia de energía electromagnética al espacio libre

## 2.6 ESPACIO LIBRE

Idealmente se lo define, como un medio homogéneo, sin corriente o cargas conductoras presentes y sin objetos que absorban o reflejen energía radio-eléctrica.

Este concepto se lo utiliza debido a que simplifica el entendimiento de la propagación de ondas y por que las condiciones de propagación, algunas veces, se aproximan a las del espacio libre

A medida que la variación electromagnética se va alejando de la antena transmisora, se dice que la onda se propaga y se está dando lugar al fenómeno de la RADIOPROPAGACIÓN.

## 2.7 RADIACION ELECTROMAGNETICA

La radiación electromagnética es una combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes, que se propagan a través del espacio transportando energía de un lugar a otro. La radiación electromagnética se puede propagar en el vacío. En el siglo XIX se pensaba que existía una sustancia indetectable, llamada éter, que ocupaba el vacío y servía de medio de propagación de las ondas electromagnéticas.

## 2.8 RADIO ENLACE

Un radioenlace (Figura N° 5) es el conjunto de equipos de transmisión y recepción necesarios para el envío vía radio de una señal de uno a otro nodo o centro de una red.

Un radioenlace consta de un equipo transmisor/receptor en ambos lados más los accesorios necesarios (fuentes de alimentación o baterías, torres, cables y accesorios menores). Un radioenlace puede trasladar sólo una señal o varias de forma simultánea, según cuál sea su diseño.



**Figura N°5.** Trayectoria completa de transmisión sobre transmisor y receptor

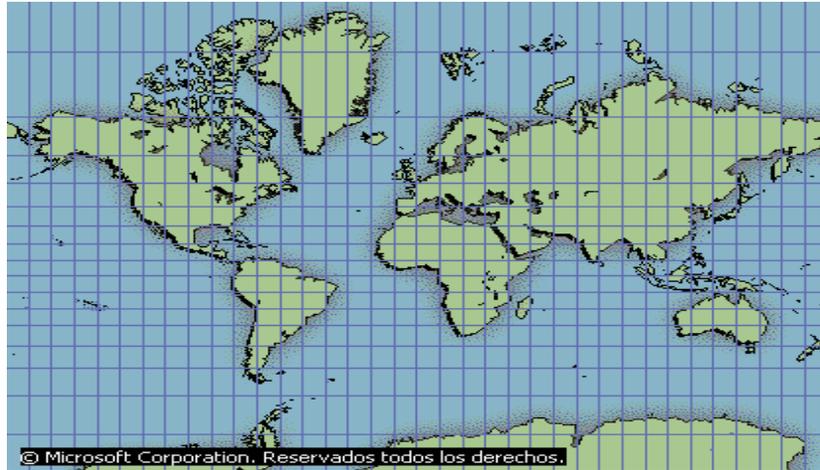


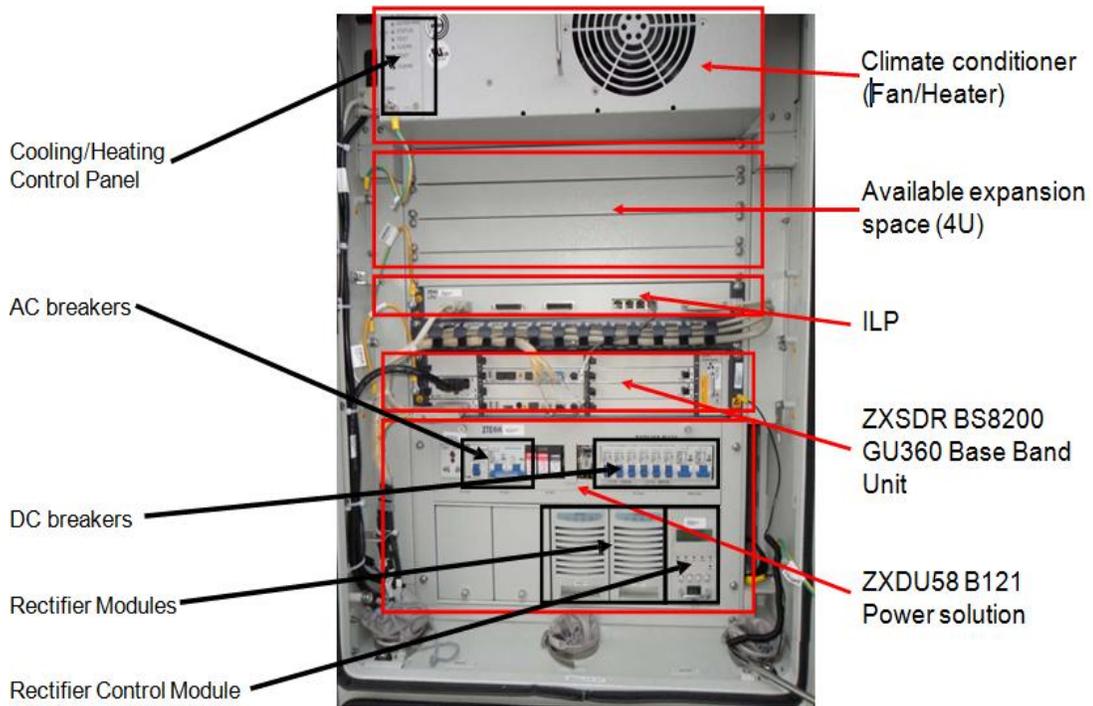
Figura N° 6 Mapa para las coordenadas; longitudes y latitudes

## 2.9 HADWARE EN TELEFONIA CELULAR



Figura N° 7 Emisores y Receptores de Radioenlace.

Fig  
ura  
N°  
8  
Dis  
po  
siti  
vos  
aloj  
ad  
os  
en  
el  
ga



binete.

### 2.9.1. TIPOS DE TORRES

Existen distintos tipos de torres para celulares, entre los más comunes podemos encontrar:

- a) Torres auto soportadas
- b) Torres arriostradas
- c) Mono postes

A continuación se presenta una breve explicación de cada formato.

## a) TORRE AUTOSOPORTADA

Las torres autoportadas (Figura N°9) son estructuras reticuladas tronco piramidales que se ofrecen para uso en telecomunicaciones como soporte de antenas celulares, de sección triangular ó cuadrada, fabricadas con montantes de chapa plegada ó perfil ángulo respectivamente.

Todos los materiales componentes se galvanizan por inmersión en caliente, según normas, para luego aplicarles dos manos de esmalte acrílico acuoso (pintura ecológica), conformando el balizamiento diurno.

Las torres son diseñadas para admitir cargas en toda su estructura, limitando las deformaciones de acuerdo al equipamiento radioeléctrico a utilizar.

Son las torres más rígidas y las menos sensibles a la torsión. Por esta razón se utilizan cuando se trata de soportar varias antenas de gran superficie y que funcionan a frecuencias elevadas (2 GHz y más).

Los modelos de torres autoportadas pueden ser:

- ABC-S Torre Autoportada Esbelta
- ABC-U Torre Autoportada Urbana
- ABC-E Torre Autoportada
- ABC-EX Torre Autoportada Reforzada
- ABC-EXX Torre Autoportada Extra-reforzada
- ABC-L Torre Autoportada Ligera
- ABC-UL Torre Autoportada Urbana Ligera

Estas torres se construyen sobre terrenos, en áreas urbanas o cerros, y deberán de contar con una cimentación adecuada para poder resistir las fuerzas a las que están sometidas. La geometría de estas torres depende de la altura, la ubicación y del fabricante de la torre



**Figura N° 9.** Torre autosoportada

#### **b)TORRE ARRIOSTRADA**

Se trata de torres de telecomunicaciones soportadas por tensores, conocidas como torres arriostradas o torres con tirantes (Figura N°10), los tensores son generalmente de acero de alta resistencia. Una torre de comunicación con tirantes es capaz de proporcionar gran altura con un costo mucho más bajo de material. Comúnmente tiene tirantes en tres direcciones sobre radio de anclaje por lo general de  $2/3$  de la altura de la torre. La torre de comunicaciones arriostrada por lo general viene con una sección de celosía triangular. Mástiles tubulares también pueden ser utilizados, sobre todo en lugares donde la formación de hielo es muy pesada y las secciones de celosía pueden llenarse de hielo con facilidad.

La ventaja de estas torres es que son mucho más ligeras en peso pero requiere mayor espacio libre para el anclaje de los cables. Cuando se cuenta con un espacio amplio las torres arriostradas son una buena elección. Debido a su estructura, las torres arriostradas también tienen algunas restricciones, Por ejemplo, hay algunas limitaciones en el montaje de antenas de plato para mástiles de telecomunicación, también es necesario un gran bloque de anclaje para sostener los alambres.



**Figura N°10.** Torre arriostrada

### **c) MONOPOSTE**

Los monopostes (Figura N°11) son estructuras metálicas conformadas por tramos chapa de acero de diámetros variables unidos entre sí mediante empalmes especiales, soldadas y rigidizadas. Sus ventajas son la rápida instalación en espacios reducidos. Todos los materiales componentes se galvanizan por

inmersión en caliente, según normas, para luego aplicarles dos manos de esmalte acrílico acuoso (pintura ecológica), conformando el balizamiento diurno. Son diseñados para admitir cargas en su parte superior, limitando las deformaciones según el equipamiento radioeléctrico a utilizar. Contamos con varios tipos de monopostes, acorde a sus requerimientos específicos de comunicación, requieren un espacio mínimo para su instalación. Se tienen para alturas de hasta 36 mts. en secciones de 6.00 mts., fabricados con tubo tipo industrial NOM-B177 (ASTM-A-53) de diferentes diámetros y espesores de pared, acordes a las características de los esfuerzos a los que serán sometidos. En ellos podemos instalar antenas para celulares, antenas de microondas para telecomunicaciones, así como plataformas, pasillo andador y soportes, entre otros, capaces de resistir velocidades de viento hasta 200 Km/h en diferentes condiciones de terreno.



**Figura N°11. Torre Monoposte**

### 2.9.1.1 INFRAESTRUCTURA DE LAS RADIO-BASES

Para la implementación de un radio-enlace punto-punto, se requiere instalar una serie de equipos y/o infraestructuras, así como seguir una serie de procedimientos entre ellos evaluar el área donde se construirán las torres y su correcta instalación esto con el fin de evitar que por causas naturales las antenas se muevan y por ende causaría pérdidas en la comunicación debido a la ausencia de la línea de vista entre las antenas, por último y no menos importante verificar que se coloquen las debidas puestas a tierra para evitar descargas eléctricas atmosféricas que podrían comprometer seriamente a los equipos.



**Figura N°12** Estación Base de una Torre del cerro de Choacollo

### 2.9.1.2 ESTRUCTURA DE LA TORRE



**Figura N°13** Estructura de una torre

Sobre esta estructura se montarán las antenas, cables de red, alimentación eléctrica y los respectivos soportes y tornillos. Hay que resaltar que los cables de viento (tensores) deben todos tener la misma tensión. Los puntos de anclaje y sus ángulos, vistos desde el centro de la torre, deben estar tan espaciados como sea posible.

### 2.9.1.3 PUESTA A TIERRA

Realizar una instalación de tierra adecuada es sumamente importante esto con el fin de evitar que los equipos se dañen por exceso de energía estática o por causa de un rayo. Es por ello que se provee de un cortocircuito a tierra en caso de que caiga un rayo, y un circuito para que la energía estática excesiva sea disipada. La estática puede causar una degradación significativa de la calidad de la

señal, particularmente en receptores sensibles. Establecer un cortocircuito a tierra es sencillo. El instalador simplemente debe proveer un camino lo más corto posible desde la superficie conductora más alta (un pararrayos) hasta la tierra. Cuando un rayo impacta el pararrayos, la energía viaja por el camino más corto, y por lo tanto va a eludir el equipamiento. Este cable a tierra debe ser capaz de manejar corrientes grandes (se necesita un cable grueso, como un cable de cobre trenzado AWG 8). Si se usa cable coaxial entre la antena y el radio, es recomendable conectar a tierra el cable coaxial.

La unidad móvil, o estación móvil (MS), es el equipo de abonado, que tiene un receptor y un transmisor así como una unidad lógica para la señalización con la estación base.



### 3.1. EQUIPOS INSTALADOS EN LA ESTACION DE DORADO (CHOACOLLO)

En la estación del cerro Choacollo la empresa VIVA implemento los equipos de Ericsson y Huawei, para la BTS y para el radio enlace respectivamente, todos los equipos instalados en esta estación son outdoor, es decir que fueron diseñados para trabajar en condiciones externas.

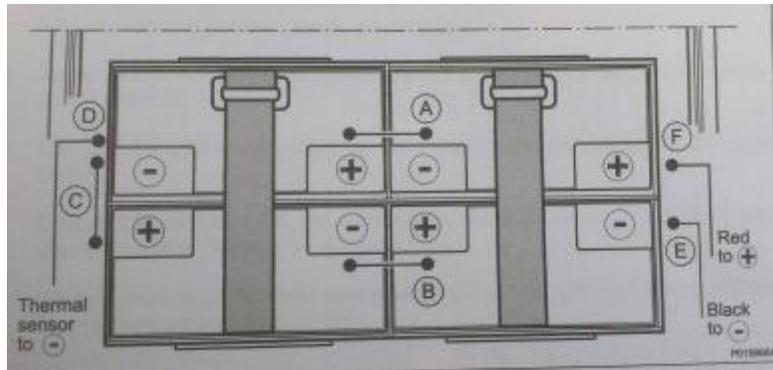
#### e) PBC-MU

La PBC-MU es el equipo que se encarga de rectificar 220Vac a -48 Vdc. para la alimentación de los equipos de la estación, la PBC-MU cuenta con un banco de 4 baterías secas, este banco tiene una autonomía de 4 horas cuando la configuración es 2+2+2 es decir que la estación lleva una RRU en cada sector y una MU que controla todos los sectores.



**Figura N°14.** Fotografía de la PBC-MU con su banco de 4 baterías

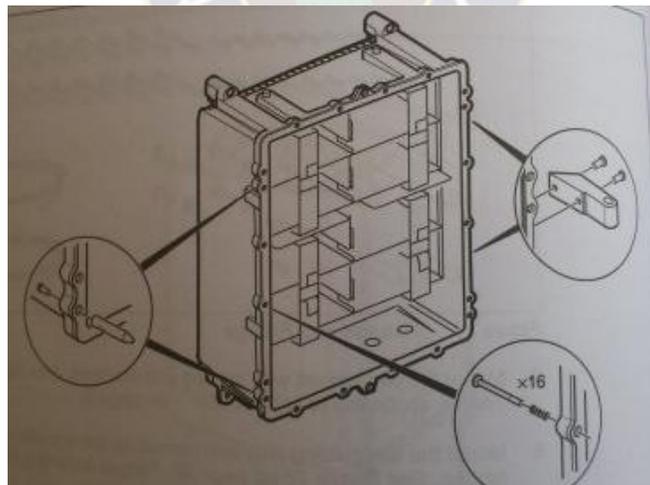
Cada batería tiene una tensión nominal de 12 Vdc, el sistema se necesita de -48 Vdc, entonces para lograr este voltaje la conexión de las baterías esta en serie, debido a que la tensión en serie se suma (Figura N°15).



**Figura N°15.** Conexión de las baterías en la PBC-MU (Manual de Instalación Ericsson2111)

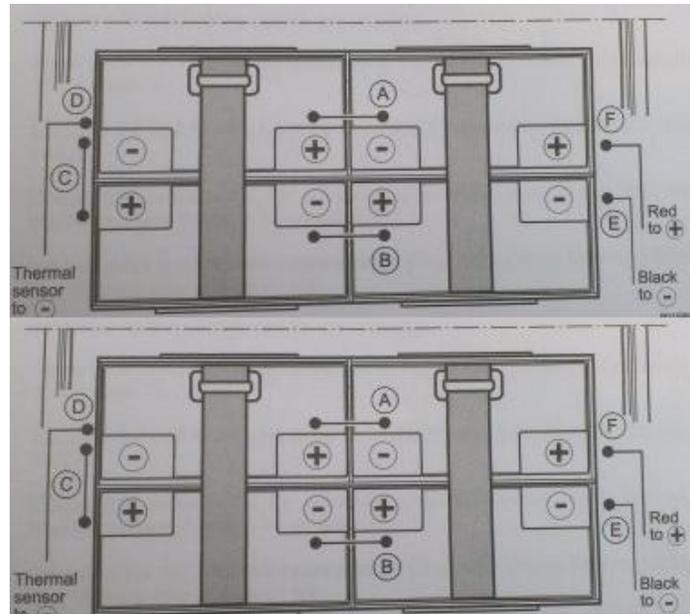
**f) PBC-BU**

La PBC-BU es una adición a la PBC-MU, esta adición se la utiliza en aéreas rurales, la función de la PBC –BU es la de incrementar la autonomía del banco de baterías a 8 horas dependiendo de la carga, la tensión de 8 horas se la obtiene con una carga para una configuración 2+2+2, eso quiere decir que lleva una RRU en cada sector y una MU que controla los sectores.



**Figura N°16.** PBC-BU (Manual de instalación Ericsson 2111).

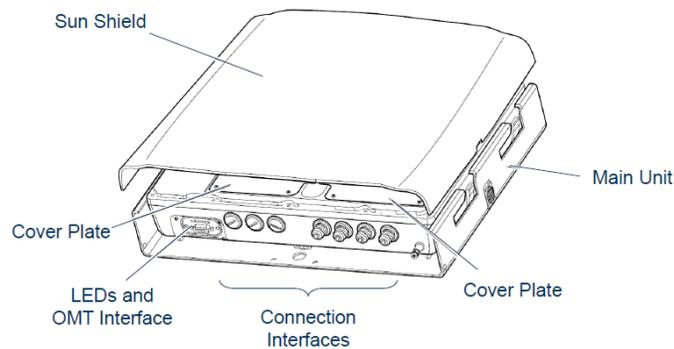
La PBC-BU lleva dos bancos de baterías. Cada banco contiene 4 baterías secas con una tensión nominal de 12Vdc cada una, la conexión entre las baterías es en serie (Figura N°17).



**Figura N°17.** Conexión de baterías en la PBC-BU (Fuente: Manual de instalación Ericsson 2111).

### g) MU

La MU (MAIN UNIT) o Unidad Maestra como su nombre lo indica es la central de control



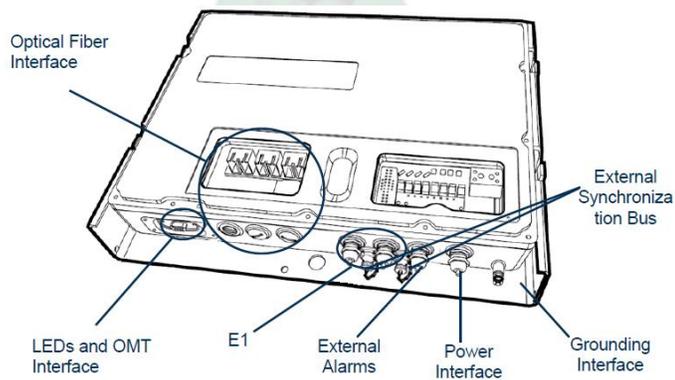
**Figura N°18** Partes de la MU (Manual de instalación Ericsson)



**Figura N°19.** Fotografía real de la MU.

En la MU (Figura N°19) se hacen la mayoría de las conexiones importantes como:

Se conecta los cables de fibra óptica que vienen de las RRU'S se conecta el cable de E1 que viene del rack del radio enlace, se conectan la alarma de descarga de batería, la alarma de baliza.



**Figura N° 20.** Interfaces de conexión ( Manual de instalación Ericsson).

Las condiciones de trabajo de la MU son de -33°C a 50°C, la MU opera bajo los siguientes datos (Tabla N° 1)

Descripción	MU
Voltaje Nominal	100-250 Vac. / -48 Vdc.
Rango de Voltaje de Operación	90-275 Vac. / -40 a -57.6 Vdc.
Frecuencia Nominal (AC)	50 - 60 Hz
Frecuencia de Operación	45 – 60 Hz
Máxima corriente de entrada	30 A
Máxima corriente de descarga a	50 mA

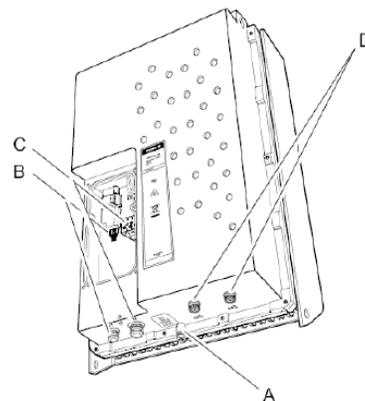
**Tabla N°1.** Valores de operación de la MU (Manual de instalación Ericsson)

#### h) RRU

La RRU (Remote Radio Unit) o unidad de radio remota es la encargada de transformar la señal eléctrica en óptica y viceversa ya que la RRU se instala en medio de la antena sectorial y la MU.

Destapando la tapa de protección de la RRU se encuentran las interfaces de conexión

- A – Grounding interface
- B – Optical fiber interface
- C – Power interface
- D – Antenna interface



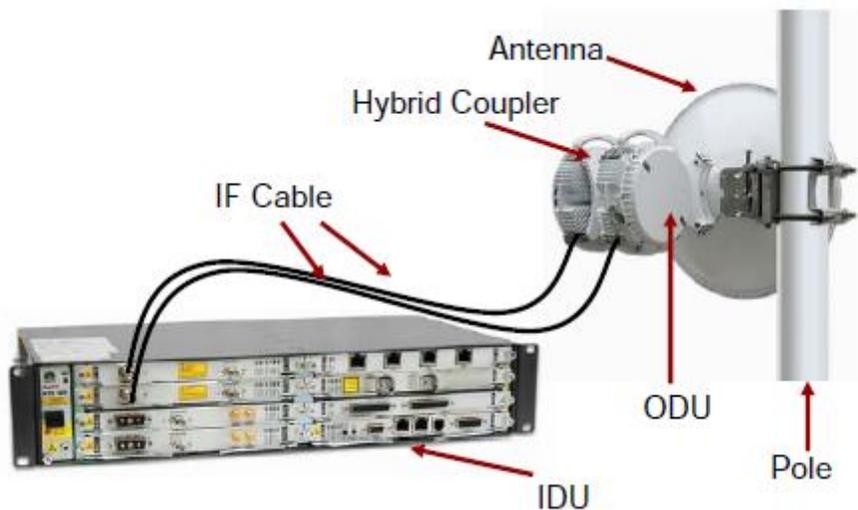
**Figura N°21.** Interfaces de conexión de la RRU (Manual de instalación Ericsson).

Las condiciones de trabajo de la MU son de -33°C a 50°C, la MU opera bajo los siguientes datos (Tabla N° 2)

Descripción	RRU
Voltaje Nominal	100-250 Vac. / -48 Vdc.
Rango de Voltaje de Operación	90-275 Vac. / -40 a -57.6 Vdc.
Frecuencia Nominal (AC)	50 - 60 Hz
Frecuencia de Operación	45 – 60 Hz
Máxima corriente de entrada	30 A
Máxima corriente de descarga a	50 mA

**Tabla N°2.** Valores de operación de la RRU (Manual de instalación Ericsson).

### 3.2 HUAWEI



**Figura N°22.** Componentes del equipo Huawei OPTIX RTN 620 ( manual de instalación OPTIX RTN 620 Huawei).

## b) ODU

La ODU (Outdoor Unit) o unidad externa es la que se encarga de la conversión mutua entre la señal analógica IF y la señal RF.



**Figura N° 23.** Fotografía de ODU`S (manual de instalación OPTIX RTN 620 Huawei).

## c) IDU

La IDU (Indoor Unit) o Unidad Interna se encarga de la modulación y demodulación de las señales SDH que son transportadas a través del enlace.



**Figura N°24.** Fotografía de la Unidad Interna (manual de instalación OPTIX RTN 620 Huawei).

## d) ANTENA

La antena implementa la dirección de transmisión y recepción de las señales RF. Los parámetros principales son la banda de frecuencias diámetro y ganancia de la antena.



**Figura N° 25.** Antena de Radio Enlace Huawei OPTIX RTN 620

### **3.3 FIBRA OPTICA**

La fibra óptica (Figura N° 26) es un medio de transmisión empleado habitualmente en redes de datos; un hilo muy fino de material transparente, vidrio o materiales plásticos, por el que se envían pulsos de luz que representan los datos a transmitir. El haz de luz queda completamente confinado y se propaga por el interior de la fibra con un ángulo de reflexión por encima del ángulo límite de reflexión total, en función de la ley de Snell. La fuente de luz puede ser láser o un LED.

Las fibras se utilizan ampliamente en telecomunicaciones, ya que permiten enviar gran cantidad de datos a una gran distancia, con velocidades similares a las de radio o cable. Son el medio de transmisión por excelencia al ser inmune a las interferencias electromagnéticas, también se utilizan para redes locales, en donde se necesite aprovechar las ventajas de la fibra óptica sobre otros medios de transmisión.

La fibra óptica se emplea como medio de transmisión para las redes de telecomunicaciones, ya que por su flexibilidad los conductores ópticos pueden agruparse formando cables. Las fibras usadas en este campo son de plástico o de vidrio, y algunas veces de los dos tipos. Para usos interurbanos son de vidrio, por la baja atenuación que tienen.



**Figura N°26** Cable de Fibra Óptica con una línea de Tx y otra de Rx

### **3.4. ESTACION DORADO (CHOACOLLO)**



**Figura N° 27** Torre de la Estación de Dorado (Choacollo)



**Figura N°28.** Fotografía de los equipos de la radio base Dorado (Choacollo)

### **3.5 LOCALIDAD DE CORIPATA Y COMUNIDADES ALEDAÑAS**

El objetivo principal es el de poder tener el servicio de telefonía celular y sus servicios de valor agregado en la localidad de Coripata y comunidades aledañas, por alguna razón y a pesar de que las distancia es más o menos de 10 km, la Empresa VIVA no tiene señal en dicho sector, pero si otras empresas como ENTEL y TIGO si poseen este servicio.

La Localidad de Coripata y las comunidades a su alrededor poseen en su entorno muchas personas que requieren el servicio, personas del lugar como visitantes que poseen un teléfono celular suscrito a VIVA, y el no poder acceder al servicio de manera fácil hace que estos migren a las otras empresas que si tienen señal, y en el caso de los visitantes existe bastantes quejas y descontentos al no poder acceder al servicio por el sector, puesto que estos sitios poseen un gran potencial turístico.



**Figura N°29.** Fotografía de la localidad de Coripata y comunidades aledañas

### **3.6. CALCULO DEL ENLACE**

Para el calculo que se realiza a continuación de forma teórica entre las estación DORADO (CERRO CHOACOLLO) y CORIPATA el sistema tiene los siguientes datos.

#### ***DATOS TÉCNICOS DEL SITIO 1 – DORADO (CHOACOLLO)***

LATITUD= 16°16'26.5" sur

LONGITUD= 67°41'25.9" oeste

ELEVACION (m.s.n.m.) 1957.8

TORRE AUTOSOPORTADA

ALTURA (m) 25

## **DATOS TÉCNICOS DEL SITIO 2 - CORIPATA**

LATITUD= 16°18'24.8" sur

LONGITUD= 67°35'50.9" oeste

ELEVACION (m.s.n.m.) 1873

TORRE AUTOSOPORTADA

ALTURA (m) 20

Frecuencia de trabajo:

$$f_{low}=15.004 \text{ Ghz}$$

$$f_{high}=15.006 \text{ Ghz}$$

Luego se tiene la frecuencia central:  $f_c = 15.005 \text{ Ghz}$

Ganancia de las antenas:

$$G_{TX}=40 \text{ dBi}$$

$$G_{RX}=40 \text{ dBi}$$

Atenuación de las líneas de transmisión:

$$A_f=0.5 + 0.5 = 1 \text{ dB}$$

Atenuación de varios

$$A_v= 1 \text{ dB}$$

$R_n=99.9981279\%$

$a = 1$

$b = 0.25$

$P_{tx}= 26.99 \text{ dBm}$

### 3.6.1 CÁLCULO DE LA DISTANCIA DEL ENLACE.

La relación que permite calcular la distancia de enlace es:

$$d = \frac{2 \cdot \pi \cdot R_T}{360^\circ} \cdot \text{Cos}^{-1} \{ \text{Sen} \phi_1 \cdot \text{Sen} \phi_2 + \text{Cos} \phi_1 \cdot \text{Cos} \phi_2 \cdot \text{Cos} (|\theta_1 - \theta_2|) \}$$

Donde:

$d$  = Distancia entre el sitio 1 y sitio 2

$R_T$  = 6378.16 Km. (Radio de la tierra)

$\phi_1$  y  $\phi_2$  = Latitudes de cada estación

$\theta_1$  y  $\theta_2$  = Longitudes de cada estación

Luego:

$$d = \frac{2 \cdot \pi \cdot 6378.16 \text{ km}}{360^\circ} \cdot \text{Cos}^{-1} \{ \text{Sen} 16^\circ 16' 26.5'' \cdot \text{Sen} 16^\circ 18' 24.8'' + \text{Cos} 16^\circ 16' 26.5'' \cdot \text{Cos} 16^\circ 18' 24.8'' \cdot \text{Cos} (67^\circ 41' 25.9'' - 67^\circ 35' 50.9'') \}$$

$$d = 10.59 \text{ km.}$$

### 3.6.2 ATENUACIÓN DE TRAYECTORIA

$$A_p = 92,44 + 20 \log_{10} d + 20 \log_{10} f$$

Donde:

$A_p$  = Pérdida de trayectoria de espacio libre (dB)

$d$  = Distancia en kilómetros

$f$  = Frecuencia en GHz

Luego:

$$A_p = 92,44 + 20 \log_{10} 10.59 + 20 \log 15005$$

$$A_p = 136.46 \text{ dB.}$$

### 3.6.3 ATENUACIÓN EN LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN

$A_f$  = Estación Dorado (Choacollo)  $L_{tx}$  + Estación Coripata  $L_{rx}$

$A_f$  = Pérdida total en las líneas de transmisión (dB)

$$A_f = 0.5 \text{ dB} + 0.5 \text{ dB}$$

$$A_f = 1 \text{ Db}$$

### 3.6.4 PÉRDIDA NETA DEL TRAYECTO

$$P_n = P_{tx} - P_{rx}$$

Donde:

$P_n$  = Pérdida neta del trayecto (dB)

$P_{rx}$  = Intensidad de señal en el receptor (dBm)

$P_{tx}$  = Intensidad de señal del transmisor (dBm)

Luego:

$$P_n = 26.99 - 31.44$$

$$P_n = 58.43 \text{ dB}$$

### 3.6.5 GANANCIA DEL SISTEMA

$$G_s = F_M + A_O + A_{LTX} + A_{LRX} + A_V - G_{ATX} - G_{ARX}$$

$$G_s = 29.29 + 136.46 + 0.5 + 0.5 + 1 - 40 - 40$$

$$G_s = 86.75 \text{ dB}$$

### 3.6.6 POTENCIA DE RECEPCIÓN

$$P_{rx} = P_{tx} - P_n$$

Donde:

$P_{rx}$  = Intensidad de señal en el receptor (dBm)

$P_{tx}$  = Intensidad de señal del transmisor (dBm)

$P_n$  = Pérdida neta del trayecto (dB)

Luego:

$$P_{rx} = -31.44 \text{ dBm}$$

### 3.6.7 MARGEN DE UMBRAL (MU)

$$(MU) = P_r - U_r$$

$$(MU) = -31.44 - (-90)$$

$U_r = \text{sensibilidad equipo}$

$$(MU) = 58.56$$

### 3.6.8 INDISPONIBILIDAD DEL SISTEMA

$$(1 - R) = \frac{0.0001 * d}{400}$$

$$(1 - R) = \frac{0.0001 * 10.59}{400}$$

$$(1 - R) = 0.0000032$$

### 3.6.9 MARGEN DE DESVANECIMIENTO $F_M$

$$F_M = 30 \log d + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70$$

Dónde:

$F_M$  = margen de desvanecimiento [dB]

D = distancia entre transmisor y receptor [km]

f = frecuencia de la portadora [GHz]

A = factor de rugosidad

A= 4 sobre agua o sobre un terreno muy liso

A= 1 sobre un terreno promedio

A= 0.25 sobre un terreno muy áspero y montañoso

B = factor para convertir la peor probabilidad mensual en una probabilidad anual

B= 1 para pasar una disponibilidad anual a la peor base mensual

B= 0.5 para áreas calientes y húmedas

B= 0.25 para áreas continentales promedio

B= 0.125 para áreas muy secas o montañosas

Luego:

$$F_M = 30 \log 10.59 + 10 \log(6 * 1 * 0.25 * 15.005) - 10 \log(0.0000032) - 70$$

$$F_M = 29.29 \text{ dB}$$

$$MU \geq F_M \text{ se cumple}$$

### 3.6.10 POTENCIA MINIMA DE RECEPCION

$$C_{\min} = P_{\text{tx}} - G_s$$

$$C_{\min} = 26.99 - 86.75$$

$$C_{\min} = -59.76 \text{ dBm}$$

### 3.6.11 ANALISIS DE RUIDO

AB canal=14MHZ

Temperatura =17°C

Carga =50 OHM

K=Contante de Boltzaman (1.381X10E-23 J/°K)

Voltaje en Recepcion =1868.95E<sup>-6</sup>

### 3.6.12 POTENCIA DE RUIDO

$$N(\text{dBm}) = -174 + 10 \log AB$$

$$N(\text{dBm}) = -174 + 10 \log 14 \text{ MHz}$$

$$N(\text{dBm}) = -102.53 \text{ dBm}$$

### 3.6.13 DENSIDAD DE POTENCIA DE RUIDO

$$N_o = K TAB$$

$$N_o = 1.38 * 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}} (290^{\circ} \text{K}) AB$$

$$N_o = 4.10^{-21} AB$$

### 3.6.14 POTENCIA DE RUIDO TOTAL

$$N_o(\text{dBm}) = 10 \log \left( \frac{4.10^{-21}}{1 \text{ mW}} \right) + 10 \log 14 \text{ MHz}$$

$$N_o(\text{dBm}) = -173.97 + 71.46$$

$$N_o(\text{dBm}) = -102(\text{dBm})$$

### 3.6.15 VOLTAJE DE RUIDO

$$V_N = \sqrt{2(R_L K T A B)}$$

$$V_N = \sqrt{2 * 50 * 1.38 * 10^{-23} * 290 * 14 \text{ MHz}}$$

$$V_N = 2.367(\mu V)$$

### 3.6.16 RELACION SEÑAL RUIDO

$$\frac{N}{S} (dB) = 20 \log \frac{V_S}{V_N}$$

$$\frac{N}{S} (dB) = 20 \log \frac{1868.95(\mu V)}{2.367(\mu V)}$$

$$\frac{N}{S} (dB) = 57 \text{ dB}$$

### 3.6.17 CALCULO DE LAS ZONAS DE FRESNEL

La primera zona de fresnel es un elipsoide de revolución entre el Tx y Rx, en la cual una reflexión puede producir una señal de adición (Figura ).

N<sup>ésimo</sup> radio de la zona de fresnel

$$F_1(m) = 17,35 \sqrt{\frac{d_1(km) \cdot d_2(km)}{f(GHz) \cdot D(km)}}$$

Donde:

F1 = radio de la primera zona de Fresnel (en metros)

d1 = distancia desde la antena al punto de reflexión (en Km.)

D = distancia desde la antena 1 a la antena 2 (en Km.)

$d_2 = D - d_1$

f = frecuencia en GHz

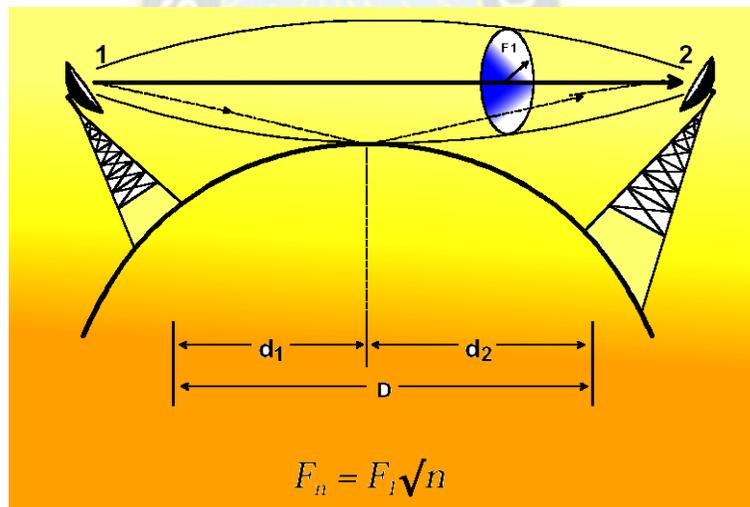
$F_n = n^{\text{ésimo}}$  radio de la zona de Fresnel

$F_1 = 1^{\text{er}}$  radio de la zona de Fresnel

n = número de zona de Fresnel

Nota: n impar => adición

n par => cancelación



**Figura N° 30** Zonas de fresnel

Como se puede observar en el perfil de radio enlace no existe obstrucción alguna entonces la primera zona de fresnel está totalmente liberado, por lo tanto no se realiza ningún cálculo.

### 3.6.18 CÁLCULO DEL ÁNGULO AZIMUTAL

Se refiere al ángulo de la dirección horizontal, con el cual deben ser orientadas las antenas respecto al norte en el horizonte

$$\alpha_1 = \alpha_o - \alpha_s$$

$$\alpha_2 = \alpha_o + \alpha_s + 180$$

$$\alpha_o = \operatorname{tg}^{-1} \left[ \cos \left( \frac{\phi_2 + \phi_1}{2} \right) \cdot \frac{\operatorname{tg} \left( \frac{\theta_2 - \theta_1}{2} \right)}{\operatorname{sen} \left( \frac{\phi_2 - \phi_1}{2} \right)} \right] ; \quad \alpha_s = \operatorname{tg}^{-1} \left[ \operatorname{sen} \left( \frac{\phi_2 + \phi_1}{2} \right) \cdot \frac{\operatorname{tg} \left( \frac{\theta_2 - \theta_1}{2} \right)}{\cos \left( \frac{\phi_2 - \phi_1}{2} \right)} \right]$$

$$\alpha_1 = 69^\circ 3' 17.29'' \quad \alpha_2 = 110^\circ 12' 51.25''$$

### 3.6.19 CÁLCULO DEL ÁNGULO DE ELEVACIÓN

Se refiere al ángulo de la dirección en la vertical, con el cual deben ser orientadas las antenas (Figura N° 31).

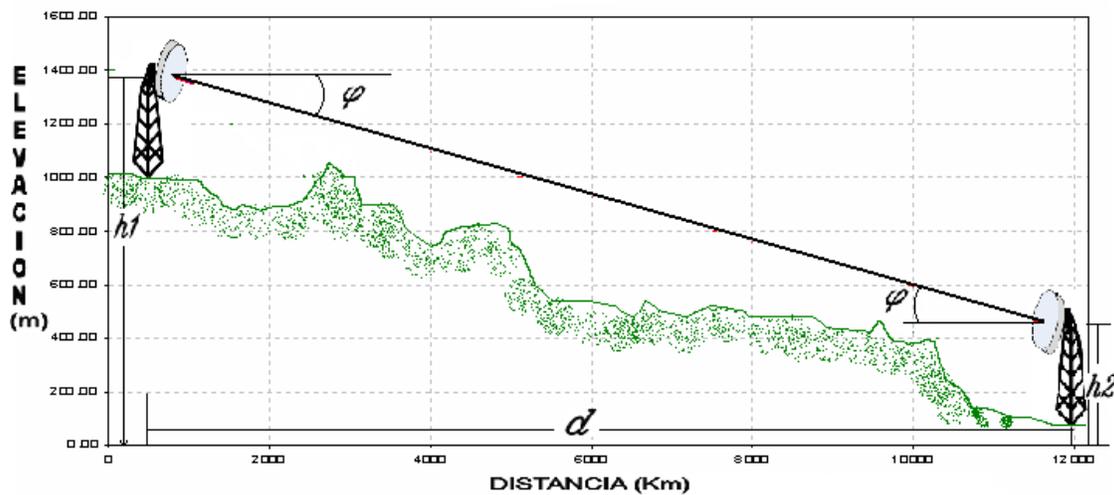


Figura N°31 Gráfica de ángulos de elevación

$$\varphi = \operatorname{tg}^{-1} \frac{H}{d}$$

Donde:

$$H = h_1 - h_2$$

Entonces:

$$\varphi = \operatorname{tg}^{-1} \frac{h_1 - h_2}{d}$$

$$\varphi = \operatorname{tg}^{-1} \frac{1982.8m - 1893m}{10.59km}$$

$$\varphi = 0.48^\circ$$

### 3.6.20 BALANCE ENERGETICO

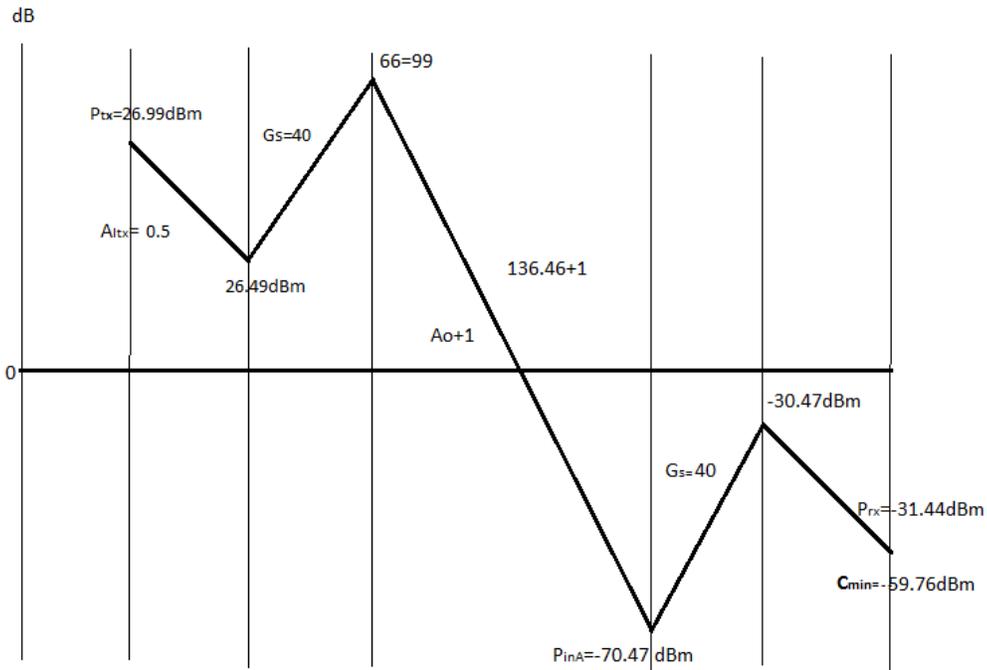


Figura N° 32 Diagrama de Norton

### 3.6.21 PRESUPUESTO ECONOMICO

MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO C/U (\$us)	TOTAL(\$us)
ANTENA	2	7000	14000
ODU	2	4000	8000
IDU	2	4000	8000
KIT CABLE F.O	35mts	4	1000
RRU	1	3000	3000
PBC-BU	1	2000	2000
PBC-MU	1	2000	2000
MU	1	1000	1000
TORRE	1	600	600

			39600
--	--	--	-------

**Tabla N° 3 Costo de los Materiales**

Por el momento la empresa VIVA alquilara la Torre de tigo en Coripata, para luego posteriormente montar su propia Torre.

Las torre que VIVA montara tendrá un costo aproximado de 39600 \$us. Esta torre tendrá una altura de 30 mts.

### 3.6.22 SIMULACION DEL ENLACE

Para la simulación del Enlace se utilizo el programa RADIO MOBILE que permite la planificación integral de una red, línea de vista y cálculos de enlace basados en datos del terreno y ángulos de alineación de antena tanto en vertical como horizontal, usa datos de elevación provenientes de diversas fuentes en formato HGT, DTED, GLOBE, SRTM30, GTOPO y los obtiene directamente, también los combina con otros mapas provenientes de la red.

Los datos técnicos para el enlace son:

Frecuencia mínima: 15.004 GHz

Frecuencia máxima: 15.006 GHz

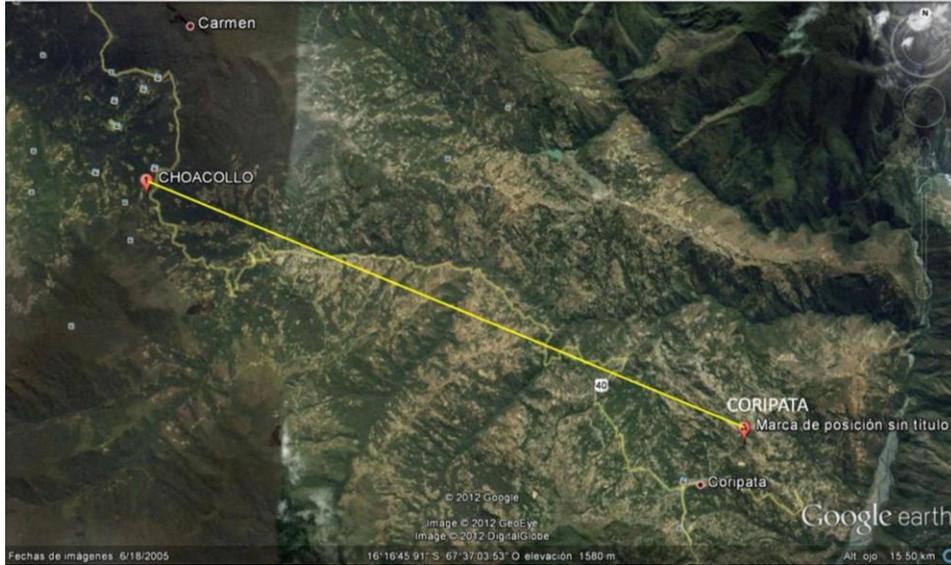
Polarización: Vertical

Potencia del transmisor: 27dBm

Sensibilidad de recepción: -90 dBm

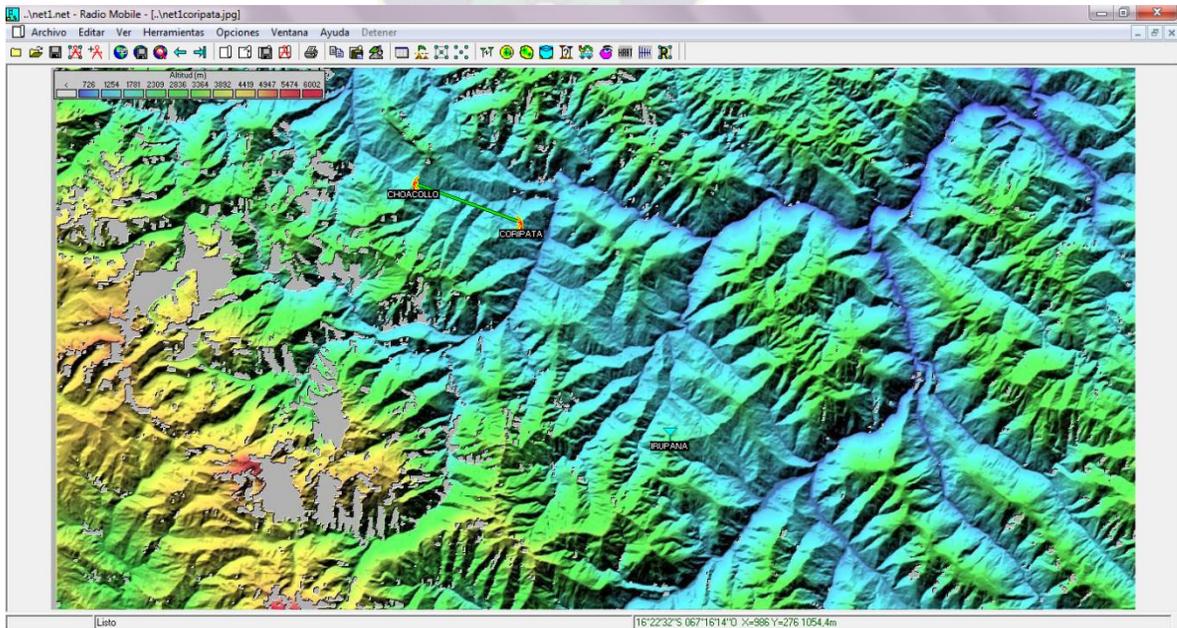
Ganancia de las antenas: 40 dBi

Para comenzar la simulación se debe obtener la ubicación exacta de las estaciones: Dorado (Choacollo) y Coripata estos sitios serán estratégicos para la ubicación de las torees de transmisión, para esto utilizamos el Google Earth.



**Figura N° 33. Sitios del Radio Enlace Ubicados en Google Earth**

Luego se procede a extraer el sitio del radio enlace mediante el Radio Mobile, en el cual se trabajará.



## Figura N°34 Obtención de Lugar Geográfico del Radio Enlace Mediante el Radio Mobile.

A continuación se realiza la introducción de los datos de la red del radio enlace.

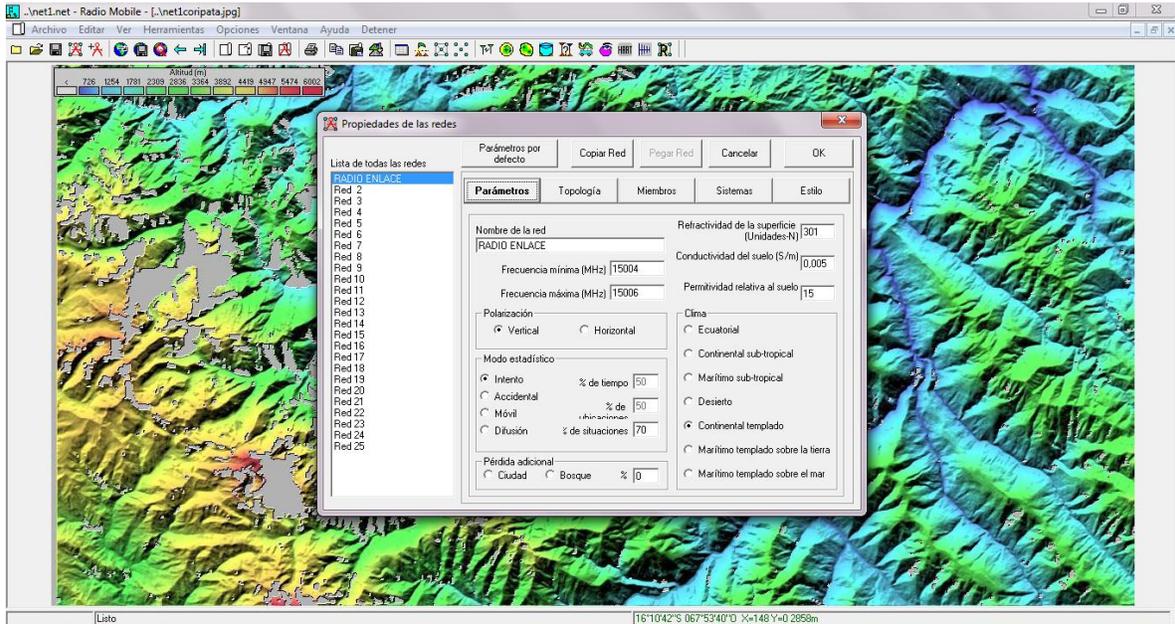


Figura N°35 Datos de la red

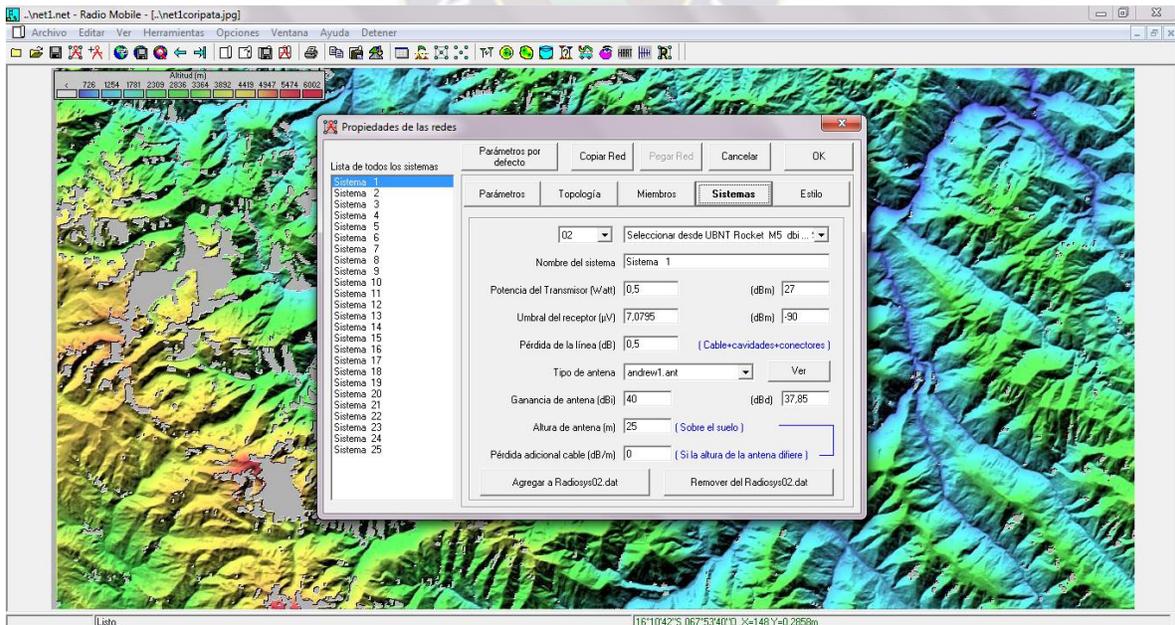


Figura N° 36 Parámetros del Enlace

Una vez que se introducen los datos se puede visualizar el perfil del radio enlace entre los dos sitios y verifica si existe obstrucción.

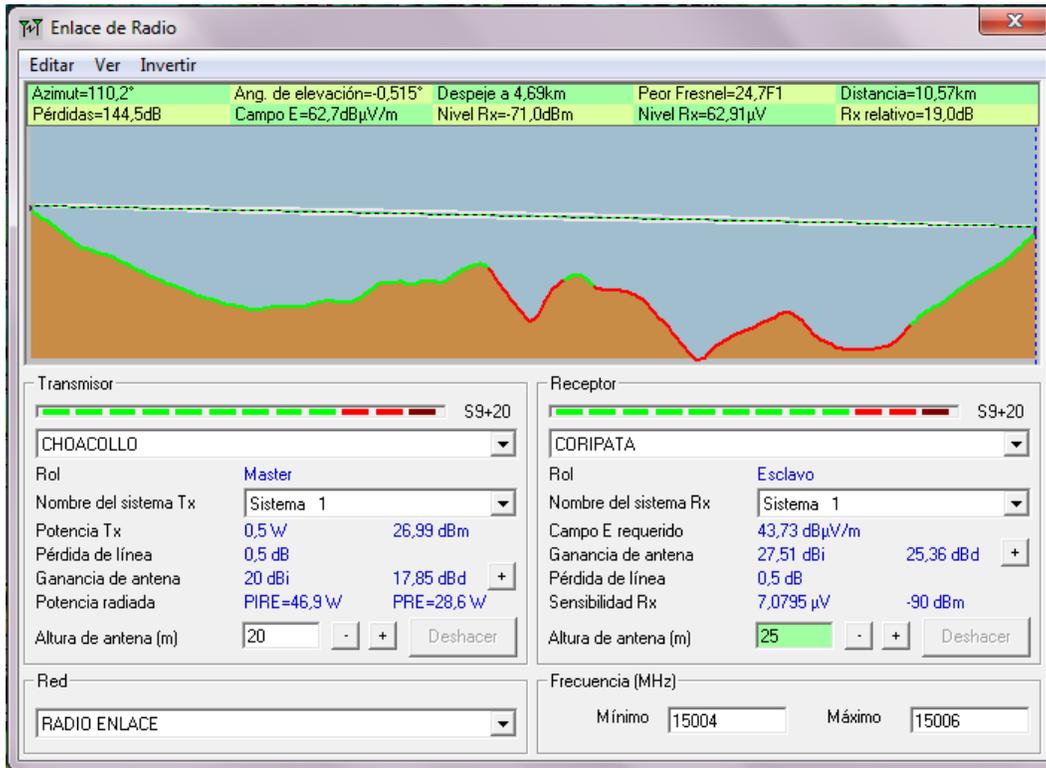
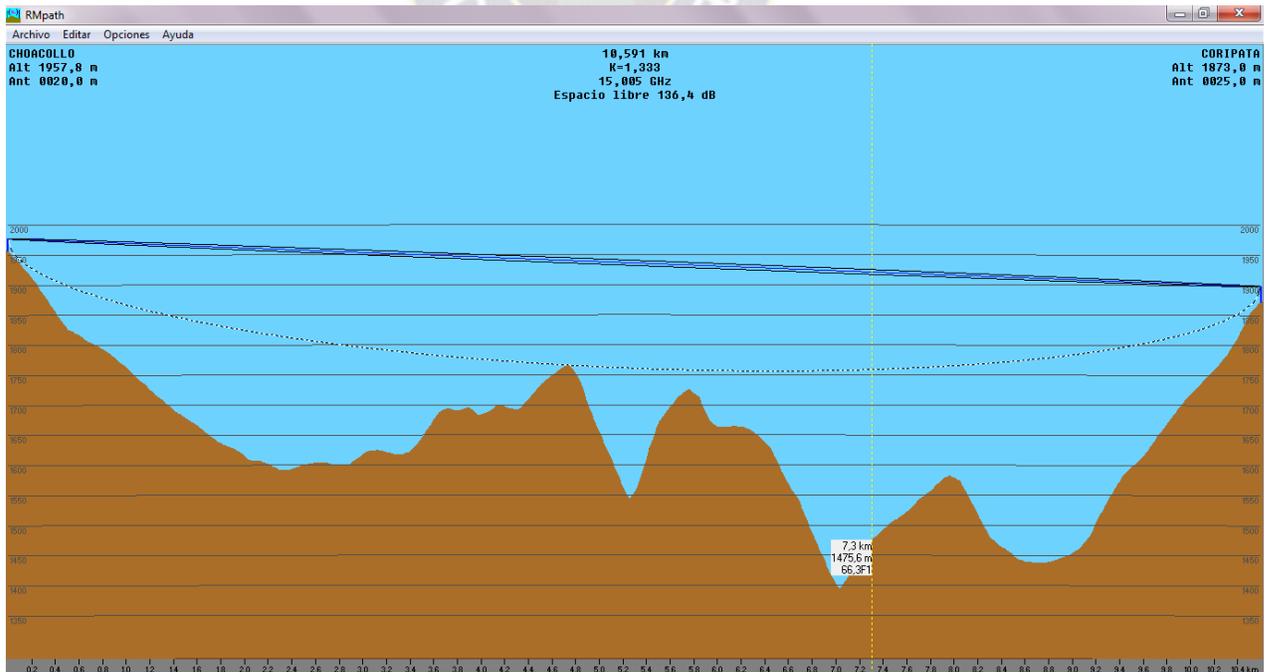
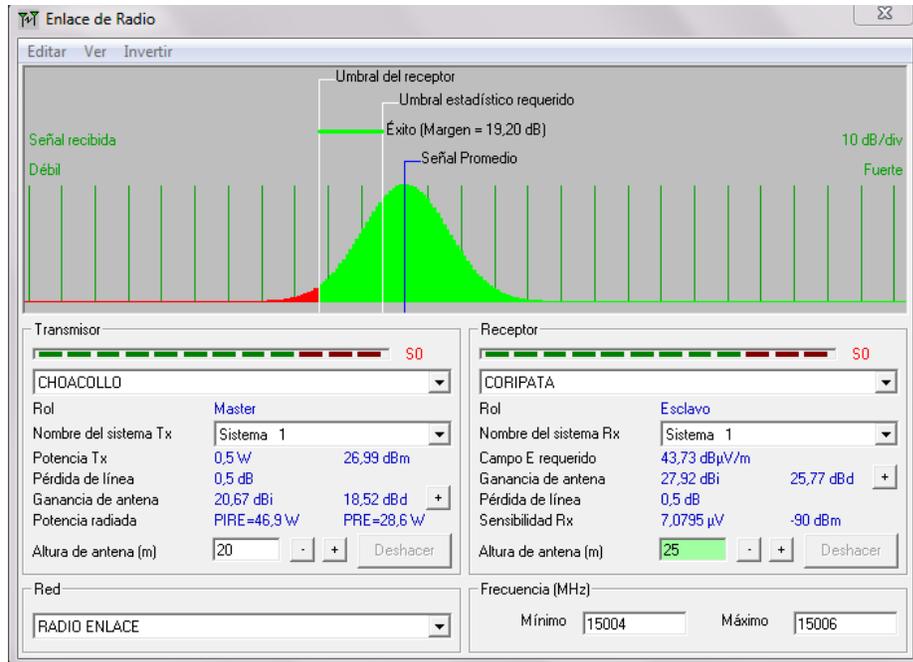


Figura N°37 Perfil del Radio Enlace



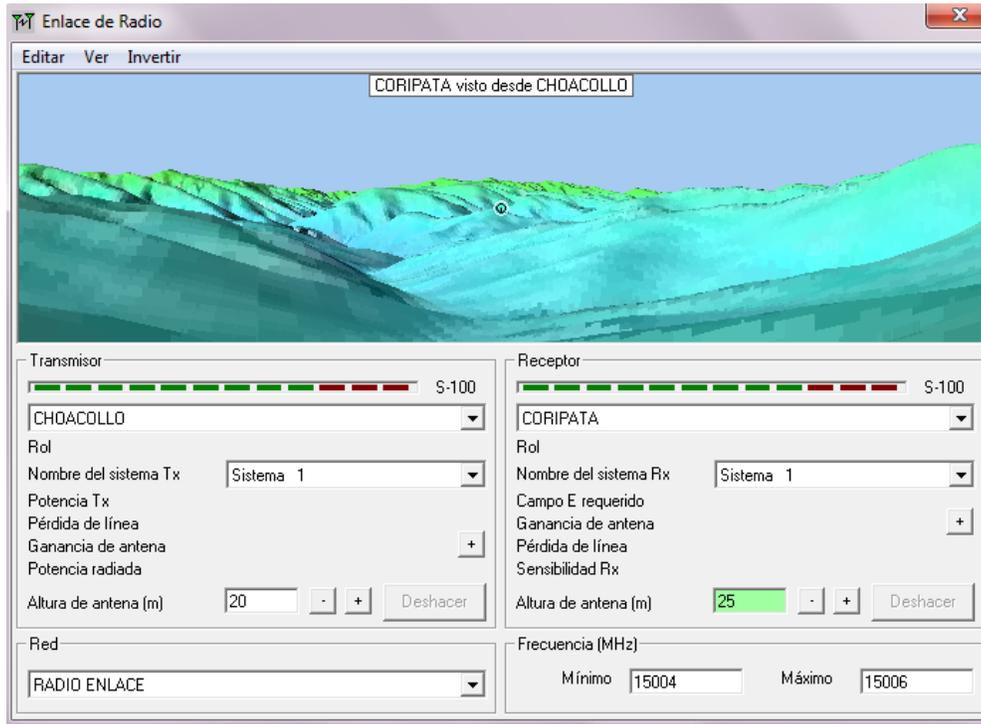
**Figura N°38 Vista extraída del perfil del Radio enlace**



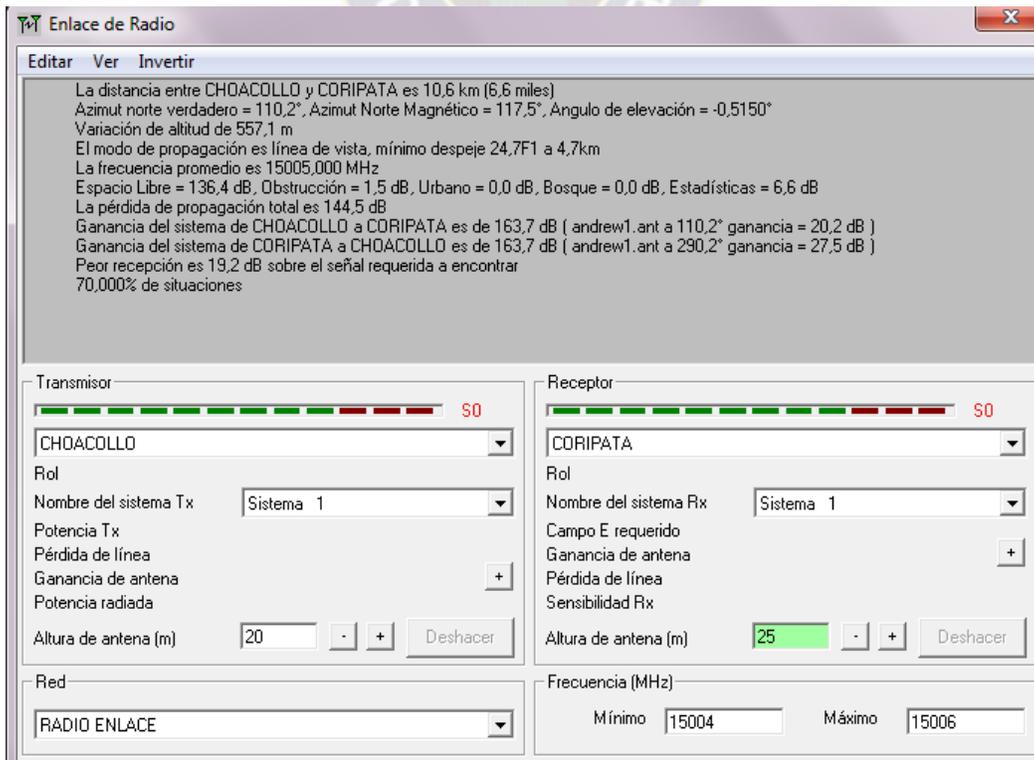
**Figura N°39 Parámetros de la Señal Promedio**



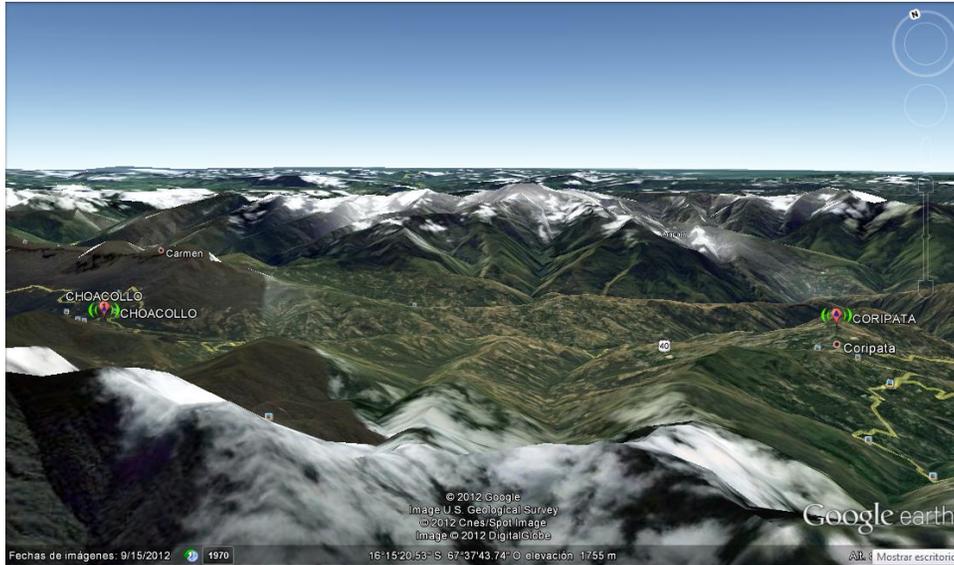
**Figura N° 40** Parámetros del Umbral de Recepción



**Figura N°41** Parámetros del Radioenlace



**Figura N°42** Características del Radioenlace



**Figura N°43** Radioenlace visto desde Google Earth



### 3.7 TABLAS COMPARATIVAS DE LOS CÁLCULOS TEÓRICOS VS. VALORES OBTENIDOS DE LA SIMULACIÓN

Una vez realizada la simulación y basándonos en los resultados antes indicados, se muestra a continuación tablas comparativas de dichos valores.

PARAMETRO	CALCULO TEORICO	CALCULO RADIO MOBILE
Distancia del enlace	10.59 Km	10.57 Km
Angulo de elevación $\alpha$	0.48 grados	0.51 grados
Azimut sitio 1	109.02	110.02
Azimut sitio 2	69.02	68.4
Perdidas por espacio libre	136.46dB	137.8dB
Potencia de Recepción	-31.44dBm	-31.6dBm
PIRE	4466.83W	4470W
Sensibilidad	-90	-90
Voltaje recibido $V(\mu)$	1849.20	1868.95

Tabla N° 4 Comparación de Datos

### 4.1 CONCLUSIONES

Como se ha visto, el diseño de un radioenlace involucra una gran variedad de cuestiones a tener en cuenta: emplazamiento, selección de equipos, cálculo del balance de potencias, identificación de obstáculos y posibles interferencias, fenómenos de atenuación y desvanecimiento de las señales, etc. Si bien actualmente la existencia de herramientas informáticas de simulación facilita enormemente la tarea, es importante conocer de primera mano todos los aspectos que pueden influir en el funcionamiento del radioenlace. De este modo, durante la fase final de verificación e instalación de los equipos será posible identificar las posibles causas de un mal funcionamiento y arbitrar los mecanismos adecuados para solucionarlo.

- Se logró describir las diferentes etapas que implican los programas Radio Mobile y Google Earth para realizar una simulación de trayectoria de enlace.
- Se realizó la simulación de la línea de la trayectoria del enlace entre las poblaciones rurales “el cerro CHOACOLLO CORIPATA”, mediante la aplicación de los programas Radio Mobile y Google Earth, demostrándose además la importancia de la aplicabilidad de un programa informático.
- Los cálculos de enlace obtenidos mediante el programa informático Radio Mobile se asemejan a los resultados de los cálculos teóricos obtenidos mediante fórmulas, demostrándose de esta manera la importancia del uso de programas informáticos fiables para reducir y optimizar el tiempo de trabajo en el área de las telecomunicaciones.

- Este trabajo ha permitido la descripción de los pasos a seguir y que pueden ser aplicados en cualquier situación geográfica, para la instalación de una estación de telefonía celular y la simulación de la trayectoria del enlace una estación a otra.
- La aplicabilidad de programas informáticos de simulación en el campo de las telecomunicaciones son importantes para una óptima realización de un trabajo profesional.

#### **4.2 RECOMENDACIONES**

- Como recomendación para el diseño de un radioenlace se debe tener en cuenta que las coordenadas tienen que ser exactas para así hacer la comparación de los datos teóricos y prácticos.
- Antes de diseñar el radioenlace verificar si existe línea de vista entre los dos puntos.

#### **5. BIBLIOGRAFIA**

IEEE 1115:2000. IEEE Recommended practice for sizing nickel-cadmium batteries for stationary applications (Prácticas recomendadas para el dimensionamiento de baterías níquel-cadmio para aplicaciones fijas).

[http://www.gencat.cat/web/multimedia/cas/antenas/index\\_htm.htm](http://www.gencat.cat/web/multimedia/cas/antenas/index_htm.htm)

<http://www.radiocomunicaciones.net/radio-enlaces.html>

NEMA PE 5:1997 (R2003). Utility type battery chargers (Cargadores de baterías tipo suministro).

- Software de radio Mobile para simulación de radioenlaces terrestres.
- Software google earth.
- Manuales de ZTE corporation y Huawei; de instalaciones y parámetro técnicos de equipos.

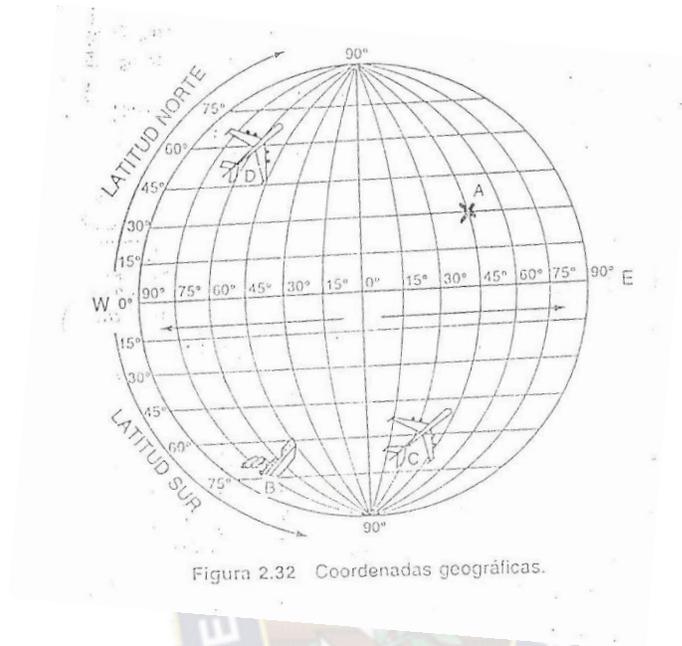


# ANEXO

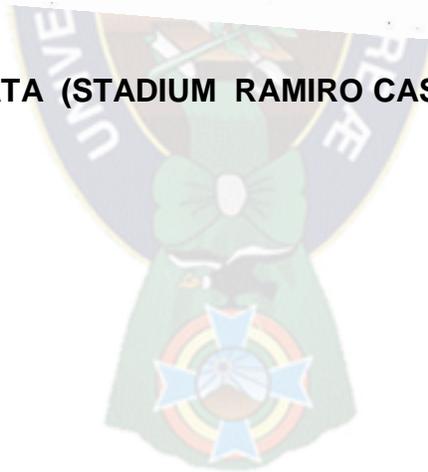
ANEXO I

ANEXO II

## 1. COORDENADAS GEOGRAFICAS



## 2. PUEBLO DE CORIPATA (STADIUM RAMIRO CASTILLO)





### 3. COMUNIDADES ALEDAÑAS DE CORIPATA



Comunidad Machacamarca



Comunidad Bella Vista

