

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD TECNOLÓGICA
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES



NIVEL LICENCIATURA

TRABAJO DE APLICACIÓN

Ampliación de la red 4G de Entel, en la población de San Pablo de Tiquina del Departamento de La Paz Provincia Manco Kapac.

Postulante: Oswaldo Horacio Durán Fernández

La Paz – Bolivia
2013

DEDICATORIA

A Dios por el amor incondicional, al haber estado en todo momento en mi vida, en las buenas y malas, aún más en esta etapa culminante de mi carrera y por darme las fuerzas necesarias para elaborar este trabajo.

A mi mamá por su apoyo en todo momento, siendo ejemplar e impulsando a mi persona a ser un individuo de bien obteniendo el presente título.

A una persona muy especial en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirme estar en esta gran etapa de mi vida, por ser mi guía en todo momento.

A mi mamá por haberme ayudado en todo aspecto, sugerencias, reflexiones, siempre con amor.

A mi hermano por haber pasado muy buenos momentos y por haberme orientado en ciertos aspectos, también a mi sobrino que está sacando una sonrisa a nuestra familia.

A mis tíos por ayudarme en esta etapa culminativa.

Finalmente mis amigos de la iglesia, que son como una segunda familia.

ÍNDICE

| | Página |
|--|----------|
| DEDICATORIA | i |
| AGRADECIMIENTOS | ii |
| CAPITULO I | |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1.- INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.2.- JUSTIFICACIÓN | 2 |
| 1.3.- OBJETIVO | 2 |
| 1.3.1.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 2 |
| CAPITULO II | |
| MARCO TEÓRICO | 4 |
| 2.1.- ANTECEDENTES | 4 |
| 2.2.- SISTEMAS MÓVILES CELULARES | 4 |
| 2.3.- ORÍGENES | 5 |
| 2.3.1.- PRIMERA GENERACIÓN (1G) | 5 |
| 2.3.2.- SEGUNDA GENERACIÓN (2G) | 5 |
| 2.3.3.- TERCERA GENERACIÓN (3G) | 6 |
| 2.3.4.- CUARTA GENERACIÓN (4G) | 6 |
| 2.3.5.- AGRUPACIONES, RACIMOS (CLUSTERS) | 11 |
| 2.4.- TILT | 11 |
| 2.5.- ARQUITECTURAS | 16 |
| 2.5.1.- COMPARACIÓN 3G-4G | 16 |
| 2.5.2.- ARQUITECTURA 4G | 19 |
| 2.5.3.- TECNOLOGÍAS EMPLEADAS | 20 |
| 2.5.3.1.- LTE (LONG TERM EVOLUTION) | 21 |
| 2.5.3.2.- WiMAX | 22 |
| 2.6.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 23 |
| 2.7.- MODELOS DE PROPAGACIÓN | 24 |

| | |
|--|-----------------------|
| 2.7.1.- MODELO DE FRIIS | 24 |
| 2.8.- ESTIMACIÓN DE TRÁFICO | 24 |
| 2.8.1.- HCS (HUNDRED CALL SECONDS) | 25 |
| 2.8.2.- EBHC (EQUATED BUSY HOUR CALL) | 25 |
| 2.9.- ESTADÍSTICAS DE TRÁFICO | 25 |
| 2.9.1.- HORA PICO U HORA CARGADA | 25 |
| 2.9.2.- CARACTERIZACIÓN DEL TRÁFICO DE LA HORA CARGADA | 25 |
| 2.9.3.- CALIDAD DE TRÁFICO | 26 |
| 2.10.- GRADO DE SERVICIO | 26 |
| 2.11.- SÍMBOLOS Y DEFINICIONES | 26 |
| 2.12.- FÓRMULAS BÁSICAS | 27 |
| 2.13.- ANÁLISIS DE COBERTURA Y TRÁFICO | 27 |
| 2.14.- BANDAS DE OPERACIÓN | 28 |
| 2.15.- ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN DE LA RADIO BASE INSTALADA | 29 |
| 2.16.- ANÁLISIS DE LA POBLACIÓN BENEFICIADA | 30 |
| 2.17.- SIMULACIÓN DEL SISTEMA PROPUESTO | 33 |
| 2.17.1.- CONFIGURACIÓN DEL MAPA | 33 |
| 2.17.2.- CONFIGURACIÓN DE LA RED | 34 |
| 2.17.3.- CONFIGURACIÓN DE LOS SISTEMAS | 35 |
| 2.17.4.- COBERTURA DEL SISTEMA | 36 |
| | |
| CAPÍTULO III | IMPLEMENTACIÓN |
| | 39 |
| 3.1.- EMPLAZAMIENTO | 39 |
| 3.2.- ESTACIÓN DE RADIO BASE TIQUINA | 39 |
| 3.3.- ACCESO Y ENERGÍA | 47 |
| 3.4.- PLANIFICACIÓN DE COBERTURA | 47 |
| 3.5.- DISEÑO TÉCNICO | 50 |
| 3.5.1.- DATOS DEL EMPLAZAMIENTO | 50 |
| 3.5.2.- BANDA DE OPERACIÓN ASIGNADA | 51 |

| | |
|--|-----------|
| 3.5.3.- CÁLCULO DE LA POTENCIA DE RADIACIÓN (EIRP) | 51 |
| 3.6.- MEDICIÓN EN BANDA | 52 |
| 3.6.1.- INSTRUMENTO DE MEDICIÓN | 52 |
| 3.6.2.- RESULTADOS DE LA MEDICIÓN | 52 |
| 3.7.- CONCLUSIONES | 54 |
| 3.8.- RECOMENDACIONES | 54 |
| ANEXOS | 55 |
| 3.9.- DATOS TÉCNICOS DEL NUEVO EQUIPO (ZTE) | 56 |
| 3.10.- PARÁMETROS DEL EQUIPO | 58 |
| 3.11.- BIBLIOGRAFÍA | 59 |
| 3.12.- ACRÓNIMO | 60 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Arquitectura plana de la red | 3 |
| Figura 2. Evolución de los sistemas | 4 |
| Figura 3. 4G con otras tecnologías | 7 |
| Figura 4. Espectro radioeléctrico | 9 |
| Figura 5. Time slots en cada canal de frecuencia | 10 |
| Figura 6. Cluster formado por 19 celdas | 10 |
| Figura 7. Patrón de radiación de una antena | 12 |
| Figura 8. Diagramas de polarización | 12 |
| Figura 9. Comportamiento de propagación | 13 |
| Figura 10. Patrones de radiación mediante tilt | 13 |
| Figura 11. Patrones de radiación mediante tilt | 14 |
| Figura 12. Antena transmisora sin tilt | 14 |
| Figura 13. Antena transmisora con tilt mecánico | 15 |

| | |
|---|----|
| Figura 14. Antena transmisora con tilt eléctrico | 15 |
| Figura 15. Patrones de radiación en función a los tilts | 16 |
| Figura 16. Arquitectura de red 3G | 18 |
| Figura 17. Arquitectura de red 4G | 19 |
| Figura 18. OFDMA y SC-FDMA | 22 |
| Figura 19. Prestaciones de la tecnología WiMAX | 23 |
| Figura 20. Torre autosoportada GSM | 29 |
| Figura 21. Embarcaciones en el estrecho de Tiquina | 31 |
| Figura 22. Transporte de vehículos por el estrecho | 32 |
| Figura 23. Plaza principal de San Pablo | 32 |
| Figura 24. Propiedades del mapa | 33 |
| Figura 25. Extracción desde internet del mapa | 34 |
| Figura 26. Parámetros de las redes | 34 |
| Figura 27. Definición de sistemas | 35 |
| Figura 28. Parámetros definición de cobertura | 36 |
| Figura 29. Lóbulo de radiación 1 | 37 |
| Figura 30. Definición de colores por señal | 37 |
| Figura 31. Área total de cobertura | 38 |
| Figura 32. San Pablo de Tiquina | 39 |
| Figura 33. Zonas de cobertura | 40 |
| Figura 34. Vista lateral de la estructura | 41 |
| Figura 35. Antena sector 1 | 42 |
| Figura 36. Antena sector 3 | 43 |
| Figura 37. Antena sector 2 | 44 |
| Figura 38. Lóbulo de radiación 1 | 45 |
| Figura 39. Lóbulo de radiación 2 | 45 |
| Figura 40. Lóbulo de radiación 3 | 46 |
| Figura 41. Área de cobertura | 46 |
| Figura 42. Electrificación | 47 |
| Figura 43. Mancha de cobertura | 49 |

| | |
|--------------------------------|----|
| Figura 44. ZTE datos técnicos | 56 |
| Figura 45. Cableado del equipo | 57 |
| Figura 46. Vista desde afuera | 57 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. 1G a 4G | 8 |
| Tabla 2. Datos técnicos BTS Huawei | 29 |
| Tabla 3. Población total por censos | 30 |
| Tabla 4. Educación | 31 |
| Tabla 5. Datos generales del emplazamiento | 50 |
| Tabla 6. Datos específicos del emplazamiento | 50 |
| Tabla 7. Asignación de la banda de frecuencia (banda B) | 51 |
| Tabla 8. Cálculo de EIRP | 51 |
| Tabla 9. Resultados de la medición de la densidad en áreas no controladas | 52 |
| Tabla 10. Resultados de la medición de la densidad en áreas controladas | 53 |
| Tabla 11. Parámetros circuitales | 58 |

CAPITULO 1

INTRODUCCION

1.1.- INTRODUCCIÓN

4G son las siglas de lo que se requiere convertir en la cuarta generación de tecnologías de telefonía móvil. Estará basada totalmente en IP, siendo un sistema de sistemas y una red de redes, no es una tecnología o estándar definido, sino una colección de tecnologías y protocolos para permitir el máximo rendimiento de procesamiento, alcanzándose después de la convergencia entre las redes de cables e inalámbricas así como en ordenadores, dispositivos eléctricos y en tecnologías de la información así como con otras convergencias para brincar velocidades de acceso entre 100 Mbps en movimiento y 1 Gbps en reposo, manteniendo un servicio de punto a punto con alta seguridad y permitiendo ofrecer servicios de cualquier clase en cualquier momento, con un mínimo coste.

Esta convergencia de tecnologías surge de la necesidad de agrupar los diferentes estándares en uso con el fin de delimitar el ámbito de funcionamiento de cada uno de ellos y con el fin también de integrar todas las posibilidades de comunicación en un único dispositivo de forma transparente al usuario.

La 4G no es una tecnología o estándar definido, sino una colección de tecnologías y protocolos diseñados para permitir el máximo rendimiento de procesamiento con la red inalámbrica más barata.

El objetivo que persigue es el de garantizar una calidad de servicio y el cumplimiento de los requisitos mínimos para la transmisión de servicios de mensajería multimedia, video chat, TV móvil o servicios de voz y datos en cualquier momento y en cualquier lugar utilizando siempre el sistema que mejor servicio proporcione. En resumen, el sistema 4G debe ser capaz de compartir dinámicamente y utilizar los recursos de red economizando los requerimientos del usuario.

1.2.- JUSTIFICACIÓN

Teniendo ya las herramientas necesarias, los cálculos previstos, tomando en cuenta también los riesgos que conlleva el realizar la instalación de la radio base, es necesario realizar una optimización de una red 4G que pueda otorgar una mejor calidad de voz, datos y paquetes multimedia.

- **Porque:** Nuestra nación como cualquier otra, necesita salir adelante en el aspecto tecnológico, así generando fuentes laborales.
- **Para que:** Para que toda la gente sin excepción alguna pueda acceder a un móvil y con los mejores servicios, promociones, etc.

1.3.- OBJETIVO

Realizar una planificación de cobertura de telefonía celular 4G en localidades o poblaciones alejadas, en nuestro caso San Pablo de Tiquina, mediante la cual podrá satisfacer las necesidades de los pobladores, en el sentido de que muchos de ellos alejados de la civilización podrán gozar de este privilegio de uso del celular en primera instancia, así mismo complementando con otros servicios de internet, televisión por cable, etc. con este mismo principio poder llegar a no solamente un lugar en especial, sino a todos los rincones de Bolivia, considerando los pro y contra de su ejecución para una pronta solución.

Uno de los objetivos principales de esta tecnología es proporcionar una velocidad, tanto de descarga como de subida de archivos, muy alta comparación con las alcanzadas con las tecnologías actuales.

1.3.1.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

De tal forma, los principales objetivos son los siguientes:

- Obtención de una mayor velocidad de transmisión, pudiendo llegar a los 100 Mbps de descarga y a los 50 Mbps de subida.

- Disminuir el retardo hasta conseguir un total menor de 10 milisegundos y unos tiempos iniciales de establecimiento de comunicación inferior a 100 ms.
- Conseguir una eficiencia espectral 3 veces mejor que la del HSPA (High-Speed Packet Access)
- Mejorar para los servicios de difusión (broadcast) para permitir servicios de radiodifusión y televisión móvil en tiempo real con una calidad aceptable para todos los usuarios.
- Flexibilidad de espectro para disponer de anchos de banda variables según el servicio y el uso de diversas bandas de frecuencia según las caracterizaciones de cada zona.

Para alcanzar la consecución de estos objetivos se están planteando arquitecturas de red con tendencia a simplificar lo máximo posible la jerarquía, hablando de estructuras planas. En éstas, la radio cobra un gran protagonismo, ya que debe asumir funciones que actualmente se hallan distribuidas en plataformas. La figura 1 muestra un ejemplo de arquitectura plana de red.

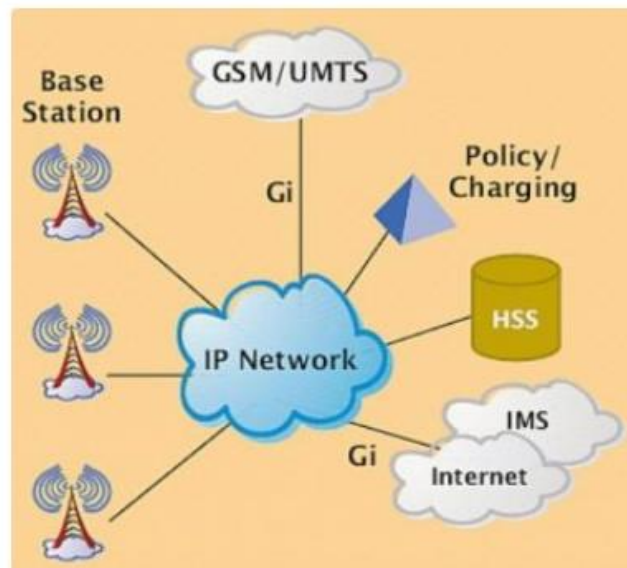


Figura 1. Arquitectura plana de la red (fuente internet)

CAPITULO 2

MARCO TEORICO

2.1.- ANTECEDENTES

La telefonía celular es un caso especial de las comunicaciones móviles, ha experimentado un crecimiento notable en poco tiempo, su grado de penetración en el mercado ha superado a cualquier producto hasta ahora conocido, la principal causa de su éxito radica en la necesidad creciente de movilidad y comunicación simultánea. La figura 2 muestra un cuadro estadístico sobre la penetración de este sistema a nuestro entorno.

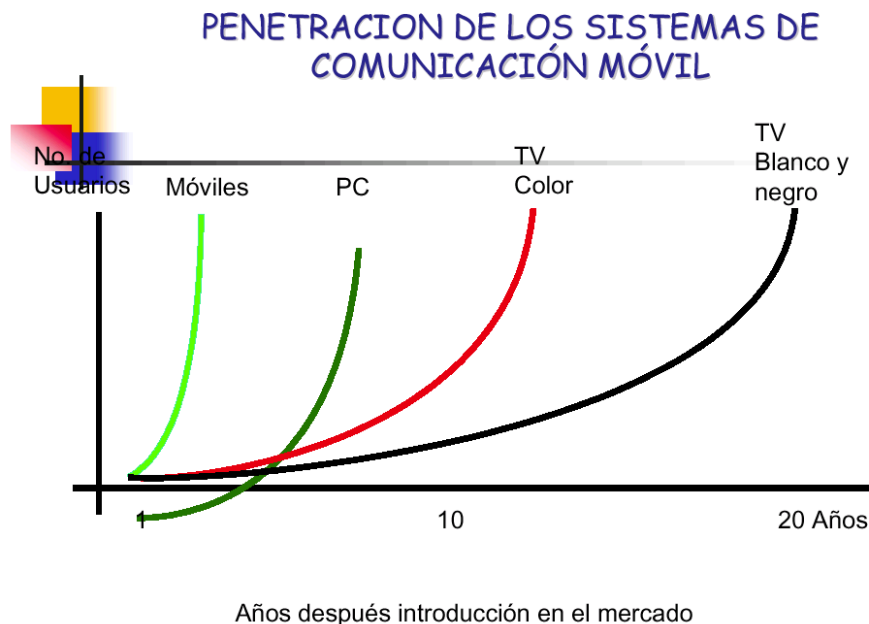


Figura 2. Evolución de los sistemas (fuente Internet)

2.2.- SISTEMAS MÓVILES CELULARES

Han pasado más de 15 años desde que inició la primera generación de servicios de telecomunicaciones móviles celulares que empleaban modulación analógica FM/FDMA.

En 1993 inició la segunda generación de sistemas de comunicaciones móviles, tales como:

- Global System for Mobile Telecommunications (GSM).
- Digital Cellular Service a 1800 MHz (DCS 1800).
- Digital European Cordless Telecommunications (DECT).

Estos sistemas han sido esencialmente desarrollados para soportar voz en ancho de banda estrecho con limitada capacidad de transmisión de datos.

En los sistemas de primera y segunda generación el interés técnico fue principalmente aumentar la capacidad del sistema para soportar servicios de voz.

El enfoque ahora para los sistemas de cuarta generación es proveer la capacidad requerida para soportar los futuros sistemas multimedios inalámbricos de alta velocidad más que sistemas de voz.

2.3- ORÍGENES

2.3.1.- PRIMERA GENERACIÓN (1G)

La Primera Generación de comunicaciones móviles está basada en FDMA (Frequency Division Multiple Access) y se caracteriza por ser analógica y estrictamente para voz. La tecnología predominante de esta generación es AMPS (Advanced Mobile Phone System) usada principalmente en los Estados Unidos.

2.3.2.- SEGUNDA GENERACIÓN (2G)

Se conoce como 2G a la segunda generación de sistemas de comunicación móvil. 2G no es un estándar o un protocolo en sí mismo, sino más bien una forma de marcar el cambio de la comunicación móvil analógica a digital con la incorporación de TDMA. 2G arribó alrededor de 1990 y su desarrollo derivó de la necesidad de poder manejar un mayor número de llamadas en prácticamente los mismos espectros de frecuencia.

2G, a fin de satisfacer un mayor requerimiento en las tasas de transmisión de datos, evolucionó a partir de 3 actualizaciones de TDMA: High Speed Circuit Switched Data (HSCSD), General Packet Radio Service (GPRS) y Enhanced Data Rate for GSM Evolution (EDGE), estos últimos categorizados comercialmente como 2.5 y 2.75G respectivamente y que se caracterizan por incorporar nodos de conmutación de paquetes Packet Switch (PS) a los ya existentes nodos de conmutación de circuitos Circuit Switch (CS), la razón es que se trata de tipos de tráfico absolutamente distintos. Por un lado en Circuit Switch se deben garantizar los recursos de ancho de banda, mientras que en

Packet Switch la red utiliza realiza lo que se conoce como "best effort" para asignar el ancho de banda.

2.3.3.- TERCERA GENERACIÓN (3G)

Los sistemas de comunicaciones móviles 3G se caracterizan por la convergencia de voz y datos con acceso a Internet; en otras palabras, es apta para aplicaciones multimedia y altas tasas de transmisión de datos.

Los sistemas de este estándar son básicamente una mejora lineal de los sistemas 2G y al igual que sus evoluciones intermedias, está basado en una infraestructura de backbone paralela, consistente por un lado en nodos de conmutación de circuitos y por otro lado en nodos de conmutación de paquetes (Circuit-Switched and Packet-Switched Domains).

La International Telecommunication Union (ITU) definió las demandas de las redes 3G bajo el estándar IMT-2000. Este sistema se desarrollo principalmente bajo las tecnologías UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) usando WCDMA como sucesora 3G de GSM.

2.3.4.- CUARTA GENERACIÓN (4G)

En telecomunicaciones, 4G son las siglas utilizadas para referirse a la cuarta generación de tecnologías de telefonía móvil. Es la sucesora de las tecnologías 2G y 3G

La 4G está basada completamente en el protocolo IP, siendo un sistema de sistemas y una red de redes, que se alcanza gracias a la convergencia entre las redes de cables e inalámbricas. Esta tecnología podrá ser usada por módems inalámbricos, móviles inteligentes y otros dispositivos móviles. La principal diferencia con las generaciones predecesoras será la capacidad para proveer velocidades de acceso mayores de 100 Mbit/s en movimiento y 1 Gbit/s en reposo, manteniendo una calidad de servicio (QoS) de punta a punta de alta seguridad que permitirá ofrecer servicios de cualquier clase en cualquier momento, en cualquier lugar, con el mínimo coste posible.

Según la UIT la telefonía celular 4G debe cumplir los siguientes requisitos:

- Estar basado en un paquete todo IP de la red conmutada.
- Tasas de datos pico de hasta aproximadamente 100 Mbps para alta movilidad, como el acceso móvil y hasta aproximadamente 1 Gbps para baja movilidad, como el acceso inalámbrico.
- Capacidad de compartir y utilizar los recursos de la red para apoyar a más usuarios simultáneos por celda de forma dinámica.
- El uso de anchos de banda de canal escalables de 5 a 20 MHz, opcionalmente hasta 40 MHz.
- Traspasos suaves a través de redes heterogéneas.
- Capacidad de ofrecer alta calidad de servicio para el soporte multimedia de próxima generación.

La figura 3 muestra de que se puede realizar con la Red 4G en comparación a otras tecnologías.

| | EDGE (2G) | UMTS (3G) | HSPA (3.5G) | HSPA+ (4G) |
|-----------------------------|-------------|------------|-------------|-------------|
| | 56kbps | 256kbps | 2Mbps | 5Mbps |
| Navegación Web | 36 segundos | 8 segundos | 1 segundo | Automático |
| Descarga Canción 5Mb | 12 minutos | 3 minutos | 20 segundos | 8 segundos |
| Descarga Video 25Mb | 1 hora | 15 minutos | 1.5 minutos | 40 segundos |
| Descarga Video 750Mb | 30 horas | 6.5 horas | 50 minutos | 20 minutos |
| Descarga Video HD | 10 días | 2-3 días | 6 horas | 2 horas |

Figura 3. 4G con otras tecnologías (fuente internet)

| Technology / Features | 1G | 2G | 2.5G | 3G | 4G |
|------------------------------|----------------------------------|---|---|--|---|
| Start/ Deployment | 1970/ 1984 | 1980/ 1991 | 1985/ 1999 | 1990/ 2002 | 2000/ 2006 |
| Data Bandwidth | 1.9 kbps | 14.4 kbps | 14.4 kbps | 2 Mbps | 200 Mbps |
| Standards | AMPS | TDMA, CDMA, GSM | GPRS, EDGE, 1xRTT | WCDMA, CDMA-2000 | Single unified standard |
| Technology | Analog cellular technology | Digital cellular technology | Digital cellular technology | Broad bandwidth CDMA, IP technology | Unified IP and seamless combination of broadband, LAN/WAN/PAN and WLAN |
| Service | Mobile telephony (voice) | Digital voice, short messaging | Higher capacity, packetized data | Integrated high quality audio, video and data | Dynamic information access, wearable devices |
| Multiplexing | FDMA | TDMA, CDMA | TDMA, CDMA | CDMA | CDMA |
| Switching | Circuit | Circuit | Circuit for access network & air interface; Packet for core network and data | Packet except circuit for air interface | All packet |
| Core Network | PSTN | PSTN | PSTN and Packet network | Packet network | Internet |
| Handoff | Horizontal | Horizontal | Horizontal | Horizontal | Horizontal and Vertical |

Tabla 1, 1G a 4G (fuente internet)

Detallaremos lo más relevante acerca de las tecnologías que mencionaremos más adelante. En sí, los servicios móviles se basan en el uso del espectro radioeléctrico, permitiendo a los abonados la capacidad de establecer comunicación.

En la figura 4 observamos la división del espectro:

Comunicaciones móviles:
 Frecuencias de operación: 850 - 1900 MHz
 Niveles de Potencia del teléfono móvil:
 600 mw sistema analógico
 125 mw sistema digital

Energía de ionización
 energía fotónica suficiente para golpear electrones de los átomos para su liberación

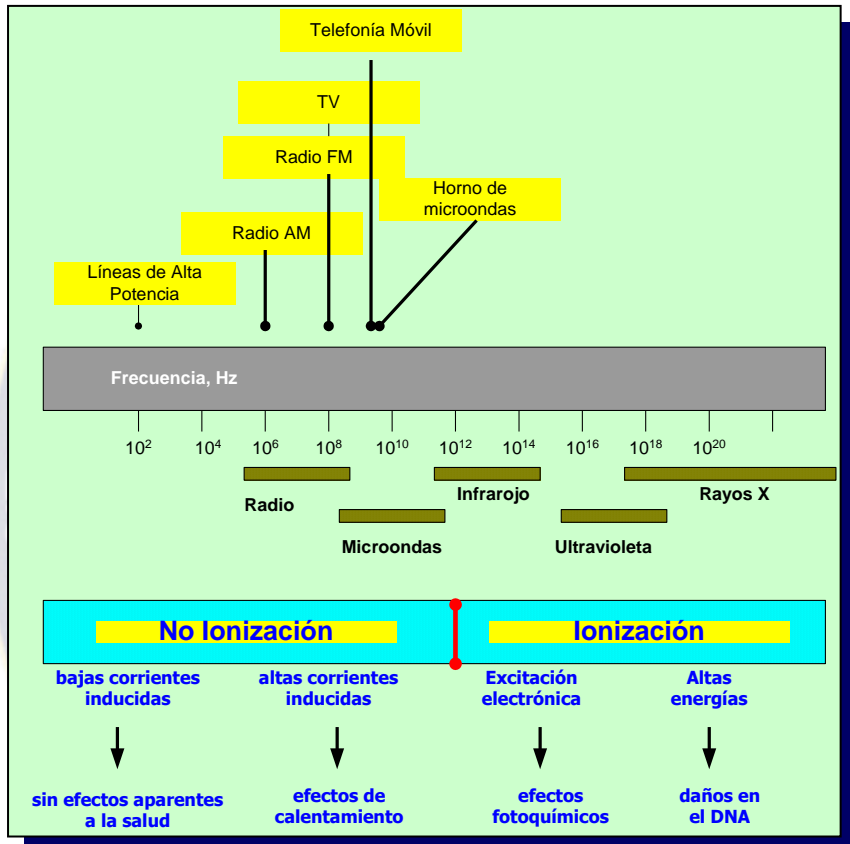


Figura 4. Espectro radioeléctrico (fuente propia)

El espectro radioeléctrico es un recurso natural formado por ondas electromagnéticas y pertenece al patrimonio de la Nación. En Bolivia, es la Autoridad de Transportes y Telecomunicaciones (ATT) la encargada de su gestión, administración y control.

Para que muchos usuarios puedan comunicarse a la vez se usa una técnica de acceso múltiple. Esta es TDMA (Time Division Multiple Access). Todos usan la misma frecuencia, pero no al mismo tiempo, y para transmitir la información de canal hay que esperar el turno. Años más adelante aparecen los primeros sistemas celulares digitales basados en TDMA. En Europa se desarrolla también un sistema celular digital basado en TDMA conocido como GSM (Groupe Speciale Mobile) con canales de 200 KHz.

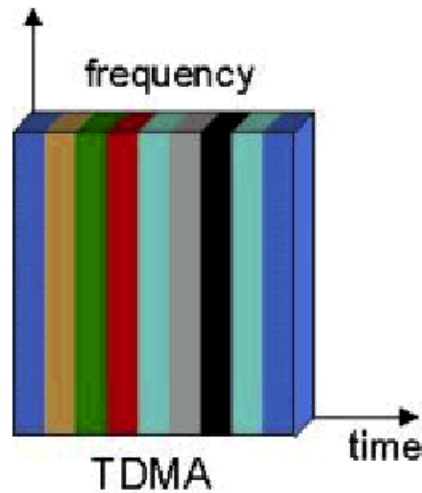


Figura 5. Time slots en cada canal de frecuencia (fuente propia)

Para lograr esto, y de acuerdo a un plan diseñado con las frecuencias disponibles del espectro, a cada estación base, también llamada celda, se le asigna un número fijo de dichas frecuencias o canales (grupo), para dar servicio a cierta cantidad de usuarios. En la figura 6, un “cluster” está formado por el conjunto de celdas que contienen todos los grupos de frecuencias del plan diseñado sin repetirse.

Finalmente, con una correcta distribución de estos grupos de frecuencias dentro un cluster, el reuso de los mismos en clusters adyacentes se hace posible incrementando así indefinidamente la cobertura con un espectro limitado.

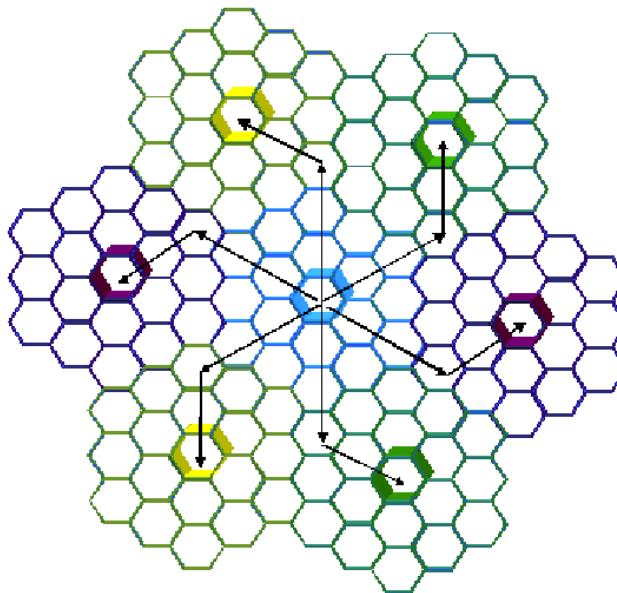
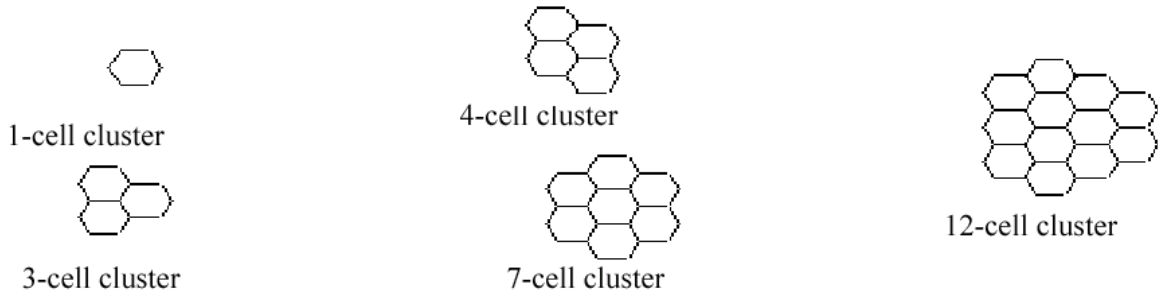


Figura 6. Cluster formado por 19 celdas (fuente propia)

2.3.5.- AGRUPACIONES, RACIMOS (CLUSTERS)

Los sistemas celulares se basan en:

- Tener J tipos de celdas
- Cada tipo de celda tiene asignado un juego de frecuencias diferente.
- El conjunto de J celdas diferentes se agrupa: agrupación o cluster.



- La zona de cobertura de este racimo o cluster se denomina “footprint”.
- El racimo o cluster se repite sistemáticamente (enlosado) para conseguir el mapa de cobertura deseado.
- Se repiten las frecuencias: reutilización de frecuencias.

2.4.- TILT

El diagrama de irradiación de antena es una representación gráfica de cómo se propaga la señal a través de esa antena, en todas las direcciones.

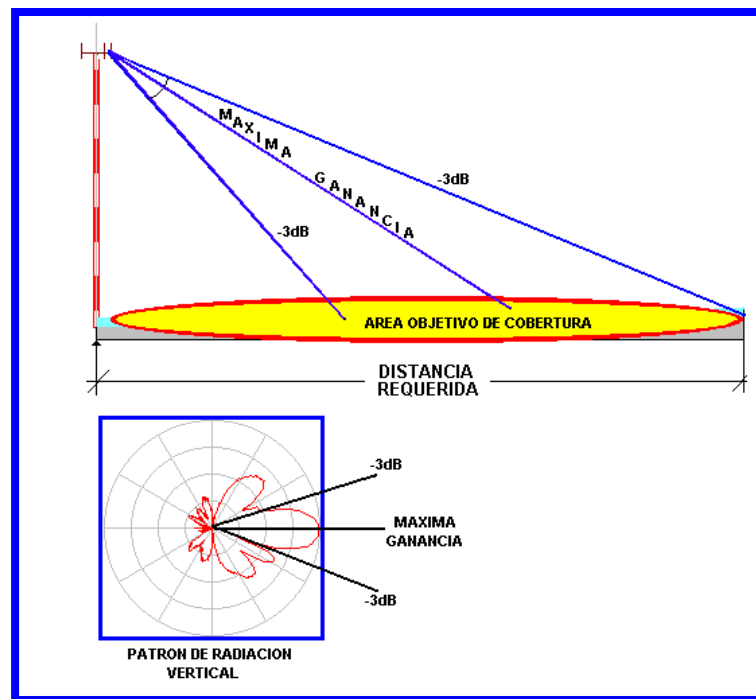


Figura 7. Patrón de radiación de una antena (fuente propia)

Normalmente los diagramas tienen filas y números que nos ayude a verificar el comportamiento exacto de cada una de las direcciones.

- Las rectas nos dice la dirección azimutal como los números 0, 90, 180, 270 en las cifras anteriores.
- Y las curvas o círculos nos indica la ganancia en esa dirección (por ejemplo, el círculo mayor dice dónde la antena logra una ganancia de 15 db)

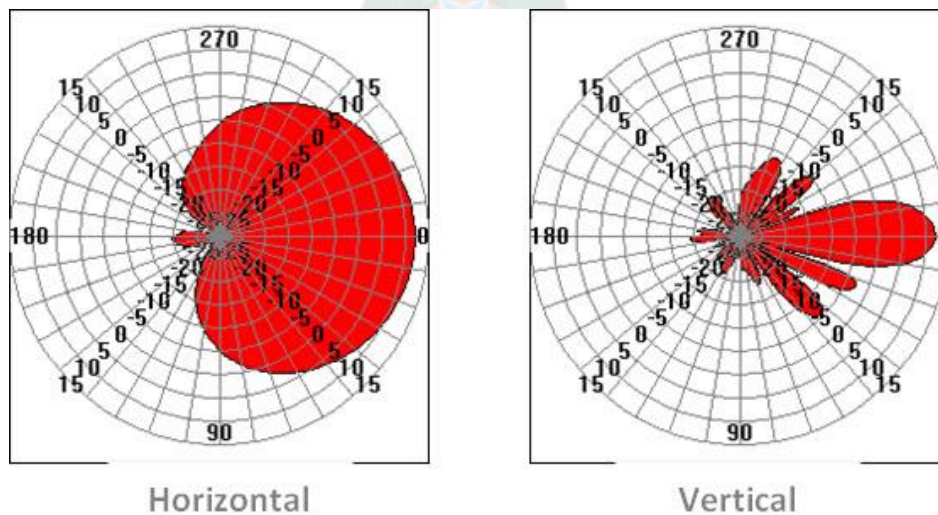


Figura 8. Diagramas de polarización (fuente propia)

El tilt se utiliza para definir y regular el tamaño de las celdas y reduce la interferencia a las agrupaciones anexas:

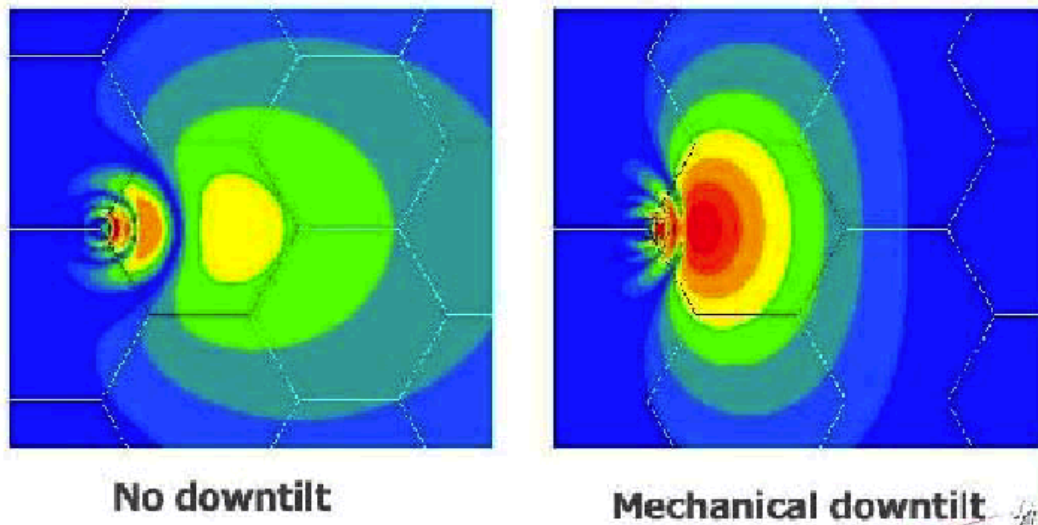


Figura 9. Comportamiento de propagación (fuente propia)

Cuando se aplica el tilt mecánico, se observa que conforme se incrementa el ángulo de inclinación, la propagación de las ondas tiende a crecer a los costados, mientras que una antena sin tilt su propagación es uniforme.

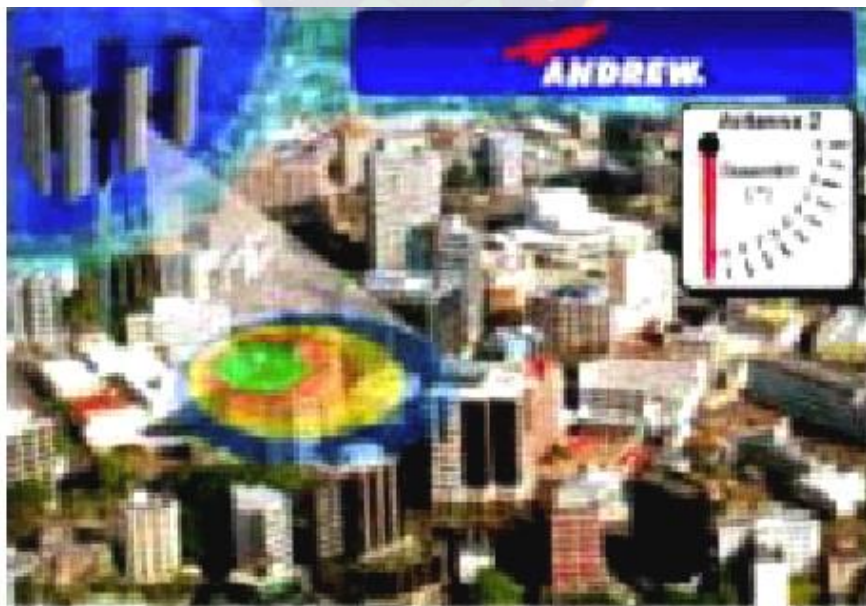


Figura 10. Patrones de radiación mediante tilt (fuente propia)

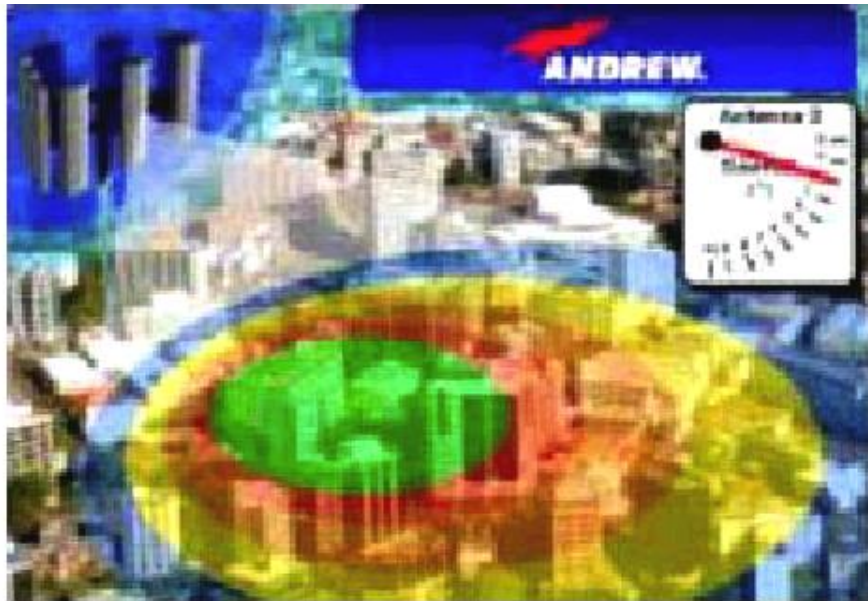


Figura 11. Patrones de radiación mediante tilt (fuente propia)

En ambos escenarios de las figuras 10 y 11, los patrones de radiación, independientemente de su configuración, está definida por un rango de colores que nos denota la intensidad con que llega el servicio desde la antena hasta el usuario móvil. Siendo el color verde la intensidad óptima de servicio, y cada color va representando en dB la potencia de recepción, llegando hasta el azul (denotado como umbral), recibiendo escasa o nula la señal.

Una antena estándar, sin tilt, el diagrama se formó como podemos ver en la figura siguiente.

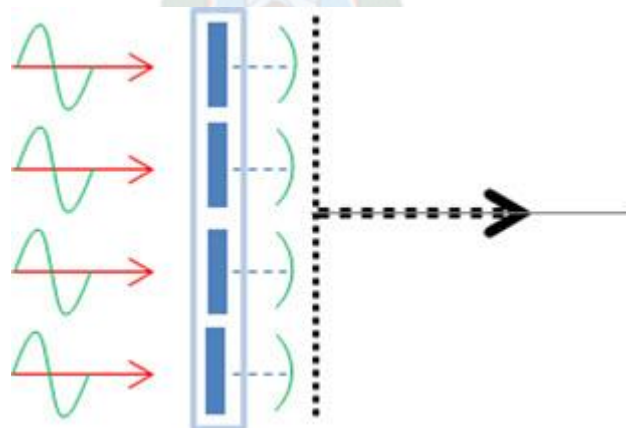


Figura 12. Antena transmisora sin tilt (fuente propia)

Hay dos tipos de tilt (que pueden aplicarse juntos): tilt eléctrico y tilt mecánico

- Tilt mecánico: Se inclina la antena hacia el suelo para enfocar el área a cubrir.

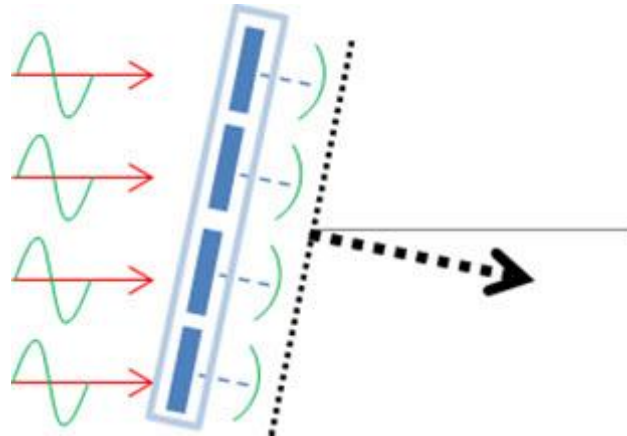


Figura 13. Antena transmisora con tilt mecánico (fuente propia)

- Tilt eléctrico: Se consigue el mismo efecto cambiando las propiedades eléctricas de las antenas (patrón de radiación)

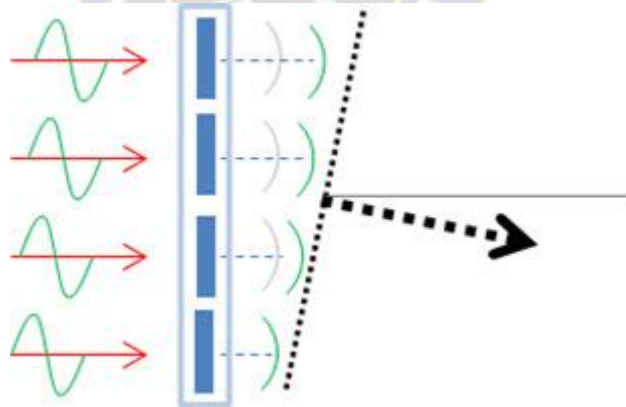


Figura 14. Antena transmisora con tilt eléctrico (fuente propia)

Ahora veamos la diferencia de comportamiento cuando aplicamos un tilt eléctrico y un tilt mecánico.

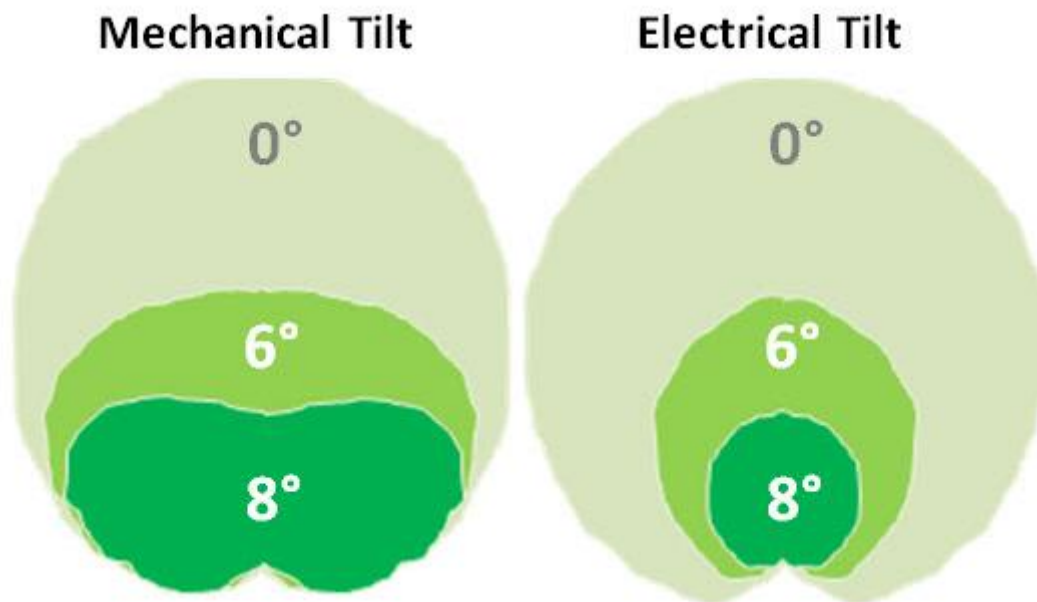


Figura 15. Patrones de radiación en función a los tilts (fuente propia)

En la figura anterior deducimos que:

- Con tilt mecánico, se reduce el área de cobertura en dirección central, pero el área de cobertura en las direcciones laterales son mayores.
- Con tilt eléctrico, el área de cobertura sufre una reducción uniforme en la dirección del azimut de la antena, es decir, la ganancia se reduce uniformemente.

No sólo eso, existen simuladores donde determinan el ángulo (tilt), y la distancia a cubrir.

2.5.- ARQUITECTURAS

2.5.1.- COMPARACIÓN 3G-4G

Aunque los sistemas de 2.5G ya soportan mejoras considerables con respecto a los sistemas 2G, éstas resultan insuficientes para satisfacer las necesidades de ancho de banda requeridas para servicios multimedia como audio, voz y datos. Con el fin de satisfacer dichas necesidades surgen los sistemas 3G cuyo punto de partida es la aplicación de una interfaz de radio de mayor capacidad. Los sistemas 3G fundamentales son UMTS y CDMA 2000 promovidos por la ITU.

UMTS ofrece un nuevo interfaz radio denominado UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access), dicho interfaz está basado en tecnología CDMA cuyo fundamento es el empleo de códigos ortogonales para compartir la energía transmitida durante una comunicación en todo el rango de frecuencias disponible. Los códigos son conocidos tanto por la estación móvil como por la estación base.

Las redes UMTS están compuestas por dos grandes subredes, una de ellas es la red de telecomunicaciones encargada de la transmisión de información entre origen y destino, y la segunda se encarga de la provisión de medios para la facturación, tarifación, registro, definición de los perfiles de servicio, la gestión y seguridad en el manejo de datos, asegurar el correcto funcionamiento de la red detectando y resolviendo las posibles averías llevadas a cabo así como la recuperación del funcionamiento tras largos períodos de apagón o desconexión.

Actualmente se ha incorporado a las redes 3G la tecnología HSPDA (High Speed Downlink Packet Access) la cual ofrece un ancho de banda máximo al usuario de 14 Mbps, el objetivo de esta tecnología es permitir los servicios multimedia a través de una red de conmutación de paquetes.

En la figura 16 se muestra un esquema de una red UMTS, está compuesta por los siguientes elementos explicados.

- **Núcleo de red:** Incorpora diversas funciones como pueden ser el transporte de la información de tráfico y señalización incluida en la conmutación o el encaminamiento. A través de éste núcleo de red UMTS se conecta con otras redes de telecomunicaciones para permitir que los usuarios conectados a distintas redes puedan comunicarse.
- **Red de acceso radio (UTRAN):** proporciona la conexión entre los terminales móviles y el núcleo de red. Está compuesta de una serie de controladores de red radio (RNC) y una serie de nodos B que dependen del RNC. Los nodos B se corresponden con las estaciones base.
- **RNC:** Realizan funciones tales como el manejo de tráfico de los canales comunes, división de tramas de datos transferidas sobre muchos nodos B, control de potencia tanto en el enlace de subida como en el de bajada y control de admisión.

- **Nodo B:** Este nodo puede dar servicio a una o más células, sin embargo generalmente da servicio a una única célula. Dentro de las funciones ejecutadas por el nodo B están aquellas concernientes a la capa física, la transmisión de mensajes de información de sistemas de acuerdo con el horario determinado por el RNC, división de tramas de datos internas al nodo B, control de potencia del enlace de subida en modo FDD (Frequency división dúplex) y reportar las mediciones de interferencia en el enlace de subida y la información de potencia en la bajada.
- **Equipo de usuario (UE):** También denominado móvil, tiene como finalidad establecer comunicación con la estación base en lugares donde exista cobertura, con la finalidad de comunicarse con otro usuario de la red.

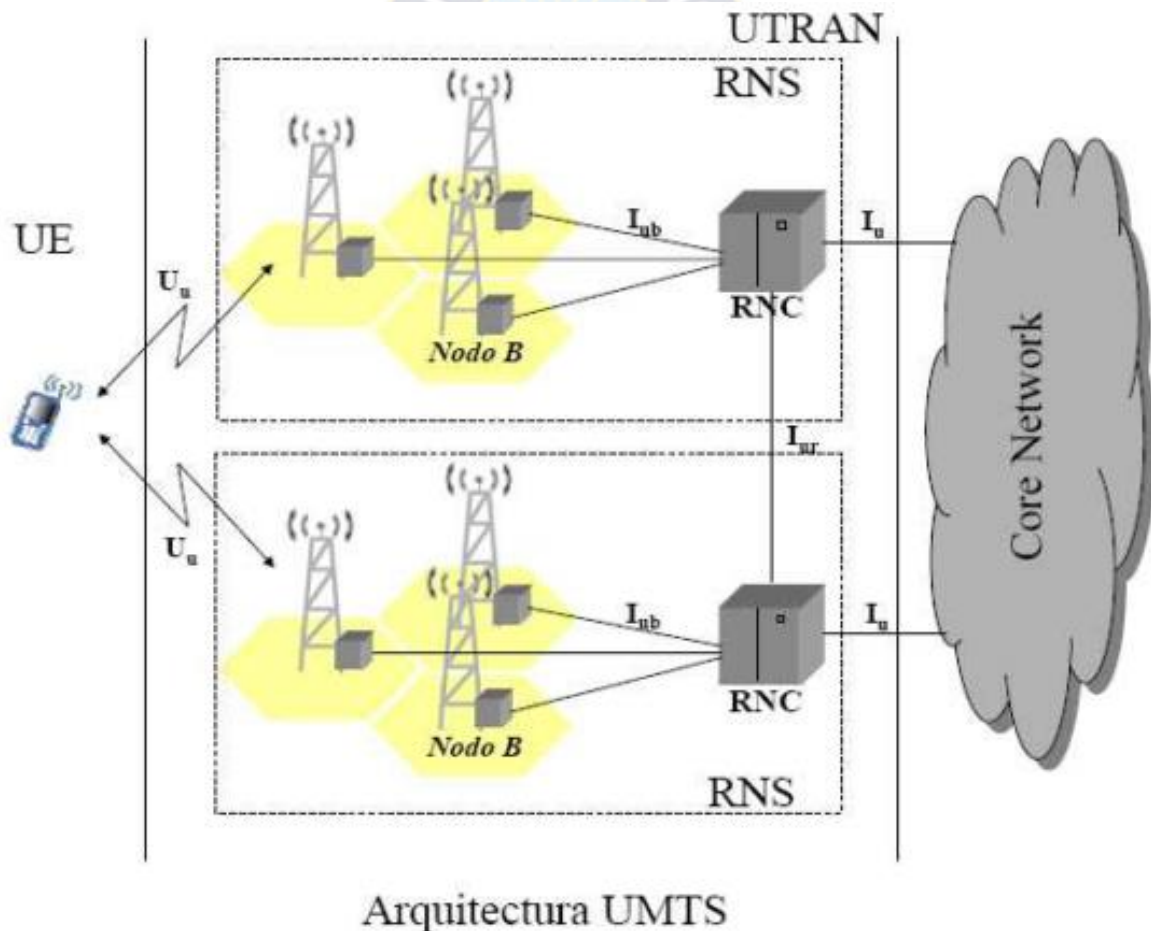


Figura 16. Arquitectura de red 3G (fuente internet)

2.5.2.- ARQUITECTURA 4G

La figura 17 es un esquema de la red 4G expuesta en cuya diferencia básica con respecto a la red 3G es el empleo de nodos intermedios (nodos relay) conectados a la estación base, terminal de usuario u otro nodo relay. Además estas redes ofrecen una mayor fiabilidad puesto que la estación base es capaz de conectarse a varias GW (GateWay), de manera que si una de ellas falla, la red no quede fuera de servicio. La GW realiza funciones para asegurar la integridad y confidencialidad de los datos así como funciones de compresión de la cabecera antes del cifrado. Cuando un usuario se conecta a la red se le asigna un conjunto de GWs, así dos o más usuarios conectados a la misma estación base pueden ser conectados a su vez a diferentes GWs. Si el usuario se mueve entre diferentes estaciones base dentro del conjunto de GWs éste no requiere un cambio de GW.

Además de los nodos obligatorios es posible definir un elemento opcional denominado RRM server que podría emplearlo el operador y que realizaría funciones de RRM (Radio Resource Management).

Estas funciones son las encargadas de gestionar todos los recursos de radio puesto que el espectro electromagnético es un bien escaso y es necesario repartirlo adecuadamente entre todos los nodos de la red para evitar que se produzcan interferencias.

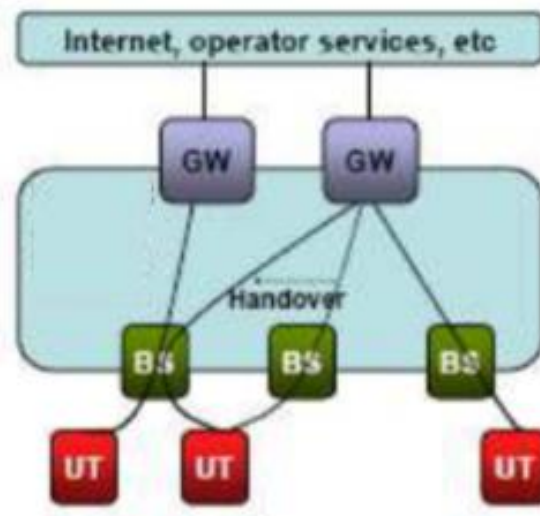


Figura 17. Arquitectura de red 4G (fuente internet)

Así los componentes fundamentales se pueden clasificar en:

- **BS (Base Station):** La estación base es un elemento físico que sirve a un nodo relay o un usuario en un área geográfica determinada. Varias estaciones base se interconectan entre sí a través del núcleo de red.
- **UT (User Terminal):** Es el dispositivo final por lo que un usuario puede acceder a un conjunto de servicios de red.
- **RN (Relay Node):** Es un elemento que da servicio a un UT u otro RN que se encuentren bajo su área de cobertura. Está inalámbricamente conectado a una estación base, otro nodo relay o un terminal de usuario y permite la comunicación entre éstos elementos.
- **RAP (Radio Access Point):** Componente responsable de la transmisión o recepción hacia o desde un usuario. Puede ser tanto un nodo relay como una estación base.

2.5.3.- TECNOLOGÍAS EMPLEADAS

Algunos de los estándares fundamentales para 4G son WiMAX, y 3GPP LTE (Long Term Evolution). Para poder hacer realidad esta red es necesario no sólo integrar las tecnologías existentes (2G, 3G...), también es necesario hacer uso de nuevos esquemas de modulación o sistemas de antenas que permitan la convergencia de los sistemas inalámbricos.

Los componentes fundamentales de 4G son:

- Sistemas Multiantena (MIMO)
- SDR (Software Define Radio)
- Sistemas de acceso existentes como TDMA, FDMA, CDMA y sus posibles combinaciones son fundamentales en sistemas 3G y también lo son los sistemas ya empleados en los estándares 802.11 (Wi-Fi), 802.16^a (WiMAX)
- Estándar IPv6 para soportar gran número de dispositivos inalámbricos, y asegurar una mejor calidad de servicio además de un enrutamiento óptimo.

2.5.3.1.- LTE (LONG TERM EVOLUTION)

Surge a partir de la necesidad de satisfacer la creciente demanda de usuarios y redes, y será la tecnología que acabe sustituyendo a la actual UMTS dentro de los sistemas 4G. Esta tecnología, basada en el uso de protocolos IP (soportado, por tanto, en el dominio de conmutación de paquetes), se halla actualmente en fase de pruebas.

LTE emplea la banda de los 700 MHz, aprovechando que ha llegado liberada tras el apagón de la televisión analógica, para lograr mejor cobertura y penetración en los edificios, algo imprescindible para las operadoras que la comercialicen.

En el funcionamiento de la tecnología LTE podemos diferenciar entre su funcionamiento en el canal de descarga de datos y en el canal de subida de datos:

- En la descarga con LTE se emplea una modulación OFDMA (acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal). Las subportadoras se modulan con un rango de símbolos QPSK, 16QAM o 64QAM. idónea para implementaciones MIMO.
- La subida de archivos con LTE usa división de portadora simple de acceso múltiple (SC-FDMA) para simplificar el diseño y reducir picos de ratio medio y consumo energético.

La Figura 18 muestra una secuencia de ocho símbolos QPSK en un ejemplo con 4 subportadoras.

Para OFDMA, los 4 símbolos se toman en paralelo, cada uno de ellos modulando su propia sub-portadora en la fase QPSK apropiada. Después de un período de símbolo OFDMA, se deja un tiempo (para que no haya solapamientos) antes del siguiente período de símbolo.

En SC-FDMA, cada símbolo se transmite secuencialmente. Así, los 4 símbolos se transmiten en el mismo período de tiempo. El rango de símbolos más alto requiere de cuatro veces el ancho de banda del espectro. Después de cuatro símbolos se deja el tiempo para evitar solapamientos mencionado anteriormente.

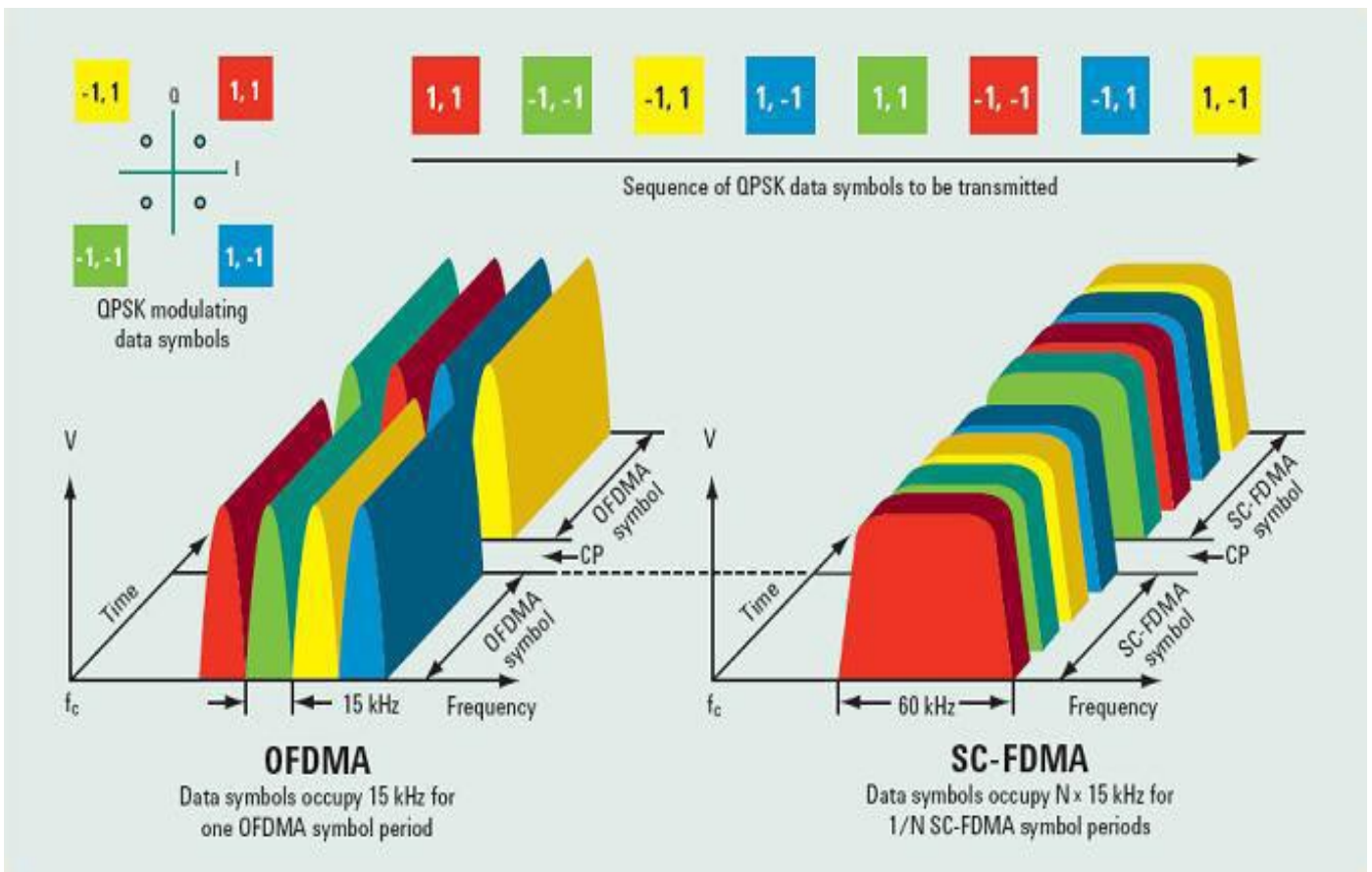


Figura 18. OFDMA y SC-FDMA (fuente Internet)

2.5.3.2.- WiMAX (Interoperabilidad mundial para acceso por microondas)

Esta tecnología se encuentra dentro de las tecnologías 4G y se basa en el estándar IEEE 802.16-2004. Estos estándares permiten velocidades que están cerca de las del ADSL pero sin cables y hasta una distancia de 50-60 km.

Esta tecnología es una de las conocidas como tecnologías de última milla o bucle local, que permite la recepción de microondas y retransmisión por ondas de radio y se presenta muy adecuada para dar servicios de banda ancha en zonas donde el despliegue de cobre, cable o fibra óptica por la baja densidad de población presenta unos costes por usuario muy elevadas (zonas rurales). Como ya se comentó en la introducción del documento, los sistemas 4G tratan de dar una calidad superior con unas redes muy poco costosas.

WiMAX amplía la cobertura que hasta ahora proporcionan las redes inalámbricas 802.11 hasta las distancias de 30 Km, sin necesidad de vista en línea recta en los últimos 20 Km.

Esta tecnología está basada en OFDM, y con 256 subportadoras puede realizar las distancias que previamente se han expuesto con capacidad para transmitir datos a una tasa de hasta 75 Mbps con una eficiencia espectral de 5 bps/Hz y dará soporte para miles de usuarios con una escalabilidad de canales de 1,5 a 20 MHz. Además el estándar soporta niveles de servicio (SLA) y calidad de servicio (QoS).

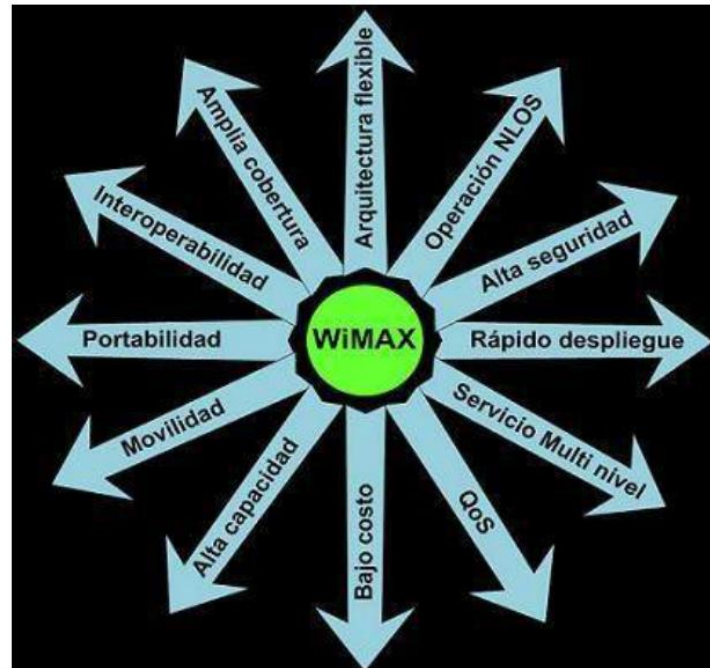


Figura 19. Prestaciones de la tecnología WiMAX (fuente Internet)

Hablando sobre las diferencias entre WiMax y Wifi, su comparación es lógica entre dos tecnologías inalámbricas de transmisión de datos, una de las más fundamentales es que con la tecnología WiMax la red se adapta a las personas y la conexión de banda ancha y el acceso a Internet se mueve con ellos, en el caso del Wifi es el usuario el que tiene que buscar el punto donde conectarse.

2.6.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se requiere una red de comunicación móvil 4G para la localidad San Pablo de Tiquina, esta red dispone de una interface de comunicación comúnmente denominadas radio bases.

Esta decisión obliga a una nueva instalación debido a la creciente demanda de nuevos usuarios, tanto locales como turistas, siendo de utilidad no sólo la comunicación, sino también al acceso de información, lo cual se da prioridad al rehúso de frecuencias para una mejor calidad de servicio QoS.

2.7.- MODELOS DE PROPAGACIÓN

Estos modelos de propagación predicen las pérdidas en decibeles de la potencia en un ambiente muy singular, algunos de estos modelos no se usan prácticamente y sólo se representan como una base teórica para introducirse a modelos más complejos.

Los modelos a menudo se basan en modelos probabilísticos, pudiendo calcular con una probabilidad de que la señal llegue o no llegue.

2.7.1.- MODELO DE FRIIS

El modelo de Friis o de espacio libre permite calcular la pérdida a cierta distancia en condiciones ideales, es decir, sin obstáculos de ninguna naturaleza.

$$L = 32.44 + 20 \log_{10} r + 20 \log_{10} f$$

Dónde:

L: Pérdidas de trayectoria en dB

f: Frecuencia en MHz

r: Distancia en Kilómetros

2.8.- ESTIMACIÓN DE TRÁFICO

La instalación de equipos y redes telefónicas se planifican de suerte que incluso de momentos de gran utilización (horas pico) existe gran probabilidad de que las llamadas puedan establecerse. La cantidad de equipos y circuitos previstos son de manera tal que una proporción prevista de llamadas no ha de establecerse entrando en espera o perdiéndose por no haber encontrado circuito libre.

El tráfico puede darse midiendo el nivel de ocupaciones de los circuitos u órganos. La intensidad de tráfico es una magnitud adimensional, cuya unidad es el Erlang (erl).

El erlang expresa la cantidad de ocupaciones que, en promedio, existen simultáneamente; en otros términos, la cantidad de líneas ocupadas que en promedio se presentan simultáneamente. Cuando una sola línea se ocupa constantemente se dice que un tráfico de intensidad equivalente a 1 erl.

Si bien la unidad erlang es la de más frecuente utilización, en algunas ocasiones es posible encontrarse con algunas otras como las que se indican a continuación.

2.8.1.- HCS (Hundred Call Seconds)

Es un valor de tráfico que señala el número medio de ocupaciones que se producen en una hora, adoptando como referente el tiempo medio de ocupación de 100 segundos.

2.8.2.- EBHC (Equated Busy Hour Call)

Es un valor de tráfico que señala el número medio de ocupaciones que se producen en una hora, adoptando como referente el tiempo medio de ocupación de 120 segundos.

2.9.- ESTADÍSTICAS DE TRÁFICO

2.9.1.- HORA PICO U HORA CARGADA

Como las solicitudes de comunicaciones tienen una fuente de tráfico que son los abonados y estos las originan de una manera aleatoria, con absoluta independencia entre sí sosteniendo conversaciones de diversas duraciones, el número de líneas de salida ocupadas simultáneamente de un grupo de líneas, fluctuará permanentemente.

2.9.2.- CARACTERIZACIÓN DEL TRÁFICO DE LA HORA CARGADA

Se puede suponer que la intensidad del tráfico se mantiene aproximadamente constante durante las horas cargadas y que la cantidad de ocupaciones simultáneas oscila sólo estadísticamente alrededor de su promedio, que es la intensidad de tráfico.

2.9.3.- CALIDAD DE TRÁFICO

La calidad de tráfico es el grado de servicio con el que atiende al tráfico, dependiendo de este concepto los cálculos para el dimensionado del número de órganos de conmutación y de líneas (circuitos o canales)

2.10.- GRADO DE SERVICIO

Es un atributo de calidad de servicio usado en las comunicaciones telefónicas en particular, y en general en los servicios basados en conmutación de circuitos, y se refiere a la probabilidad de bloqueo en el primer intento de una llamada, durante una hora pico, y se expresa como P_x donde x es menor que 1 y representa la probabilidad de bloqueo.

Mientras más bajo es el grado de servicio es menor la probabilidad de bloqueo y por supuesto mejor el desempeño de la red.

El bloqueo ocurre cuando estando todos los recursos ocupados se trata de hacer una llamada la cual no puede ser atendida por la red.

2.11.- SÍMBOLOS Y DEFINICIONES

Para resumir conceptos anteriores y relacionarlos matemáticamente convendremos la siguiente simbología:

C_A : Número de ocupaciones ofrecidas por término medio, en la unidad de tiempo, al grupo de salida.

C_Y : Número de ocupaciones atendidas por el grupo de salida, por término medio y en la unidad de tiempo.

C_R : Número de ocupaciones rechazadas por término medio, en la unidad de tiempo.

t_m : Tiempo medio de ocupación de las líneas de salida.

A: Oferta o intensidad de tráfico ofrecido.

Y: Carga o intensidad de tráfico cursado (ocupaciones que utilizan efectivamente líneas de salida).

R: Intensidad de tráfico rechazado (tráfico de desbordamiento y/o perdido).

B: Probabilidad de pérdida o desbordamiento.

2.12.- FÓRMULAS BÁSICAS

$$\begin{array}{llll} A = C_A * t_m & y = C_Y * t_m & R = C_R * t_m & B = C_R / C_A \\ C_A = C_Y + C_R & C_Y = C_A(1-B) & C_R = C_A * B & \\ A = Y + R & Y = (1-B) & R = A * B & B = (A-Y) / A \end{array}$$

Las intensidades de tráfico A, Y y R se expresan en unidades erlang (erl), siempre y cuando los números de ocupaciones C_A , C_Y y C_R se refieran a la misma unidad de tiempo que se aplique para t_m .

Para nuestro diseño en Tiquina, aplicamos un ejemplo:

Si el tiempo medio de ocupación de una salida es de 100 s, y el número de ocupaciones ofrecidas es de 180 ocupaciones por hora, ¿cuál es la intensidad de tráfico ofrecida?

O sea: $t_m = 100$ s
 $C_A = 180$ ocupaciones por hora

Solución: Como la unidad de referencia de t_m es el segundo (s); primero nos plantearemos el valor de C_A en los mismos términos. O sea:

$$C_A = 180/3600 \text{ (ocupaciones por segundo)} = 1/20 \text{ (ocupaciones por segundo)}$$

De este modo:

$$\begin{array}{l} A = C_A * t_m = (1/20) * 100 \text{ erl} \\ A = 5 \text{ erl.} \end{array}$$

2.13.- ANÁLISIS DE COBERTURA Y TRÁFICO: Los resultados son el área geográfica a cubrir y el tráfico esperado. Los datos recolectados son:

- Costo
- Capacidad
- Cobertura
- Grado de Servicio (GOS)

- Frecuencias
- Calidad de la voz
- Capacidad de expansión

El tráfico por abonado se calcula por la fórmula de Erlang:

$$A = \frac{n * T}{3600} \quad (\text{Erlang})$$

Donde:

A = Tráfico ofrecido por un abonado o más abonados.

T = Tiempo de conversación promedio en segundos.

n = Número de llamadas por hora.

Se recomienda un tráfico entre 25 mErl y 33 mErl para la planificación de Redes 4G.

2.14.- BANDAS DE OPERACIÓN

Se dispone de diversas bandas de operación como ejemplo en las diversas aplicaciones del mundo:

- **BC1, LTE Band 1:** Una banda LTE empleada en Asia en países como Japón, Corea del Sur y también en Israel. LTE en 2100MHz
- **BC2, LTE Band 2:** La banda LTE secundaria empleada por U.S. Cellular (carrier CDMA), LTE en 1900MHz.
- **BC5, LTE Band 5:** Banda LTE empleada en Asia, principalmente en Corea (LTE en 850MHz) y también en Israel.

2.15.- ANÁLISIS DE LA SITUACION DE LA RADIO BASE INSTALADA

Se cuenta con un equipo Huawei el cual tiene las siguientes características



| Type | Parameters |
|---------------------------------|---|
| Dimensions | 600(W)*900(H)*450(D) |
| Weight under full configuration | ≤ 160Kg |
| 3*1 and 3*2 Weight | ≤ 120Kg |
| -48V input range of voltage | -48V DC:-38.4V DC to -57V DC |
| +24V input range of voltage | +24 DC:+21.6 V DC to +29 V DC |
| 220 AC input range of voltage | 220 AC: Single-phase or three-phase power cable |
| 110 AC input range of voltage | 220 AC: Single-phase or three-phase power cable |

Tabla 2 Datos técnicos BTS Huawei



Figura 20. Torre autosoportada GSM (fuente propia)

De modo que su reemplazo será otro equipo con mejores características

2.16.- ANÁLISIS DE LA POBLACIÓN BENEFICIADA

La población de San Pedro de Tiquina, entre niños y adultos pueden beneficiarse de este servicio de última milla, otorgando todos los servicios multimedia existentes en nuestro medio.

En la siguiente tabla se observa la densidad poblacional de San Pedro de Tiquina, separándolos por género.

| Población | | | | | | |
|---------------------------------------|--------------|---------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| | 1992 | | | 2001 | | |
| Población Total por Censos | 5,490 | | | 6,093 | | |
| Tasa Anual de Crecimiento Intercensal | | | | 1.13 | | |
| Ambos Sexos | 1992 | | | 2001 | | |
| Grupos de Edad | Total | Urbano | Rural | Total | Urbano | Rural |
| Total | 5,490 | 0 | 5,490 | 6,093 | 0 | 6,093 |
| 0 a 5 años | 796 | 0 | 796 | 714 | 0 | 714 |
| 6 a 18 años | 1,638 | 0 | 1,638 | 1,673 | 0 | 1,673 |
| 19 a 39 años | 1,089 | 0 | 1,089 | 1,196 | 0 | 1,196 |
| 40 a 64 años | 1,165 | 0 | 1,165 | 1,580 | 0 | 1,580 |
| 65 años y más | 802 | 0 | 802 | 930 | 0 | 930 |
| Hombres | 1992 | | | 2001 | | |
| Grupos de Edad | Total | Urbano | Rural | Total | Urbano | Rural |
| Total | 2,514 | 0 | 2,514 | 3,034 | 0 | 3,034 |
| 0 a 5 años | 412 | 0 | 412 | 375 | 0 | 375 |
| 6 a 18 años | 848 | 0 | 848 | 914 | 0 | 914 |
| 19 a 39 años | 484 | 0 | 484 | 605 | 0 | 605 |
| 40 a 64 años | 478 | 0 | 478 | 759 | 0 | 759 |
| 65 años y más | 292 | 0 | 292 | 381 | 0 | 381 |
| Mujeres | 1992 | | | 2001 | | |
| Grupos de Edad | Total | Urbano | Rural | Total | Urbano | Rural |
| Total | 2,976 | 0 | 2,976 | 3,059 | 0 | 3,059 |
| 0 a 5 años | 384 | 0 | 384 | 339 | 0 | 339 |
| 6 a 18 años | 790 | 0 | 790 | 759 | 0 | 759 |
| 19 a 39 años | 605 | 0 | 605 | 591 | 0 | 591 |
| 40 a 64 años | 687 | 0 | 687 | 821 | 0 | 821 |
| 65 años y más | 510 | 0 | 510 | 549 | 0 | 549 |

Tabla 3. Población total por censos (fuente INE)

| Educación | | | |
|--|-------------|---------|---------|
| Población por Edades (2001) | Ambos sexos | Hombres | Mujeres |
| 4 - 5 años | 244 | 134 | 110 |
| 6 - 13 años | 1,069 | 567 | 502 |
| 14 - 17 años | 498 | 274 | 224 |
| 18 - 19 años | 205 | 138 | 67 |
| Tasa de Alfabetismo (2001) | | | |
| 1992 | 57.82 | 80.31 | 40.71 |
| 2001 | 72.50 | 91.69 | 54.35 |
| Tasa de Asistencia | | | |
| 1992 | 73.01 | 72.55 | 73.51 |
| 2001 | 83.31 | 82.52 | 84.28 |
| Años Promedio de Estudio | | | |
| 1992 | 3.35 | 5.15 | 2.12 |
| 2001 | 4.39 | 6.30 | 2.70 |
| Cobertura Neta Educación Pública (2001) | | | |
| Pre-escolar | 55.33 | 54.14 | 56.76 |
| Primaria | 95.79 | 93.47 | 98.41 |
| Secundaria | 52.01 | 56.36 | 46.64 |
| Población Pública (2001) | | | |
| Número de Matriculados | 1,661 | 891 | 770 |
| Tasa de Abandono | 10.30 | 10.66 | 9.87 |
| Tasa de Efectivos | 89.70 | 89.34 | 90.13 |
| Tasa de Promoción | 86.51 | 84.96 | 88.31 |
| Tasa de Reprobación | 3.19 | 4.38 | 1.82 |

Tabla 4. Educación (fuente INE)



Figura 21. Embarcaciones en el estrecho de Tiquina (fuente propia)



Figura 22. Transporte de vehículos por el estrecho (fuente propia)



Figura 23. Plaza principal de San Pablo (fuente propia)

La población de Tiquina está ubicada por el Noroeste de La Paz de la provincia Manco Kapac a una altitud de 3823 metros sobre el nivel del mar, cuenta con 3245 habitantes aproximadamente y además es una Zona Turística por el estrecho de Tiquina y ruta principal de acceso a Copacabana, Isla de Sol. La población de Tiquina se divide en dos poblaciones diferentes San Pedro de Tiquina, San Pablo de Tiquina y tienen poblaciones aledañas con numerosos habitantes. Por esa razón se tomó la decisión de poner una red 4G, para ello se deberá de buscar un lugar estratégico para poder llegar con telefonía móvil.

2.17.- SIMULACION DEL SISTEMA PROPUESTO

2.17.1.-CONFIGURACIÓN DEL MAPA

Utilizamos como referencia el programa Radio Mobile, herramienta de gran utilidad para llevar a cabo las principales funcionalidades.

Para descargar el mapa utilizamos como referencia sus coordenadas geográficas

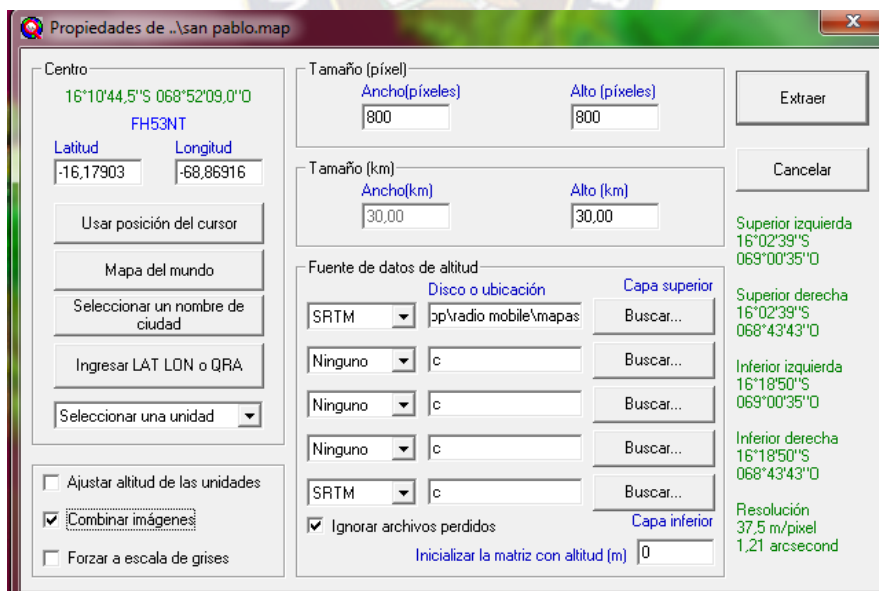


Figura 24. Propiedades del mapa

Una vez extraído el mapa procedemos a ubicar el punto de transmisión

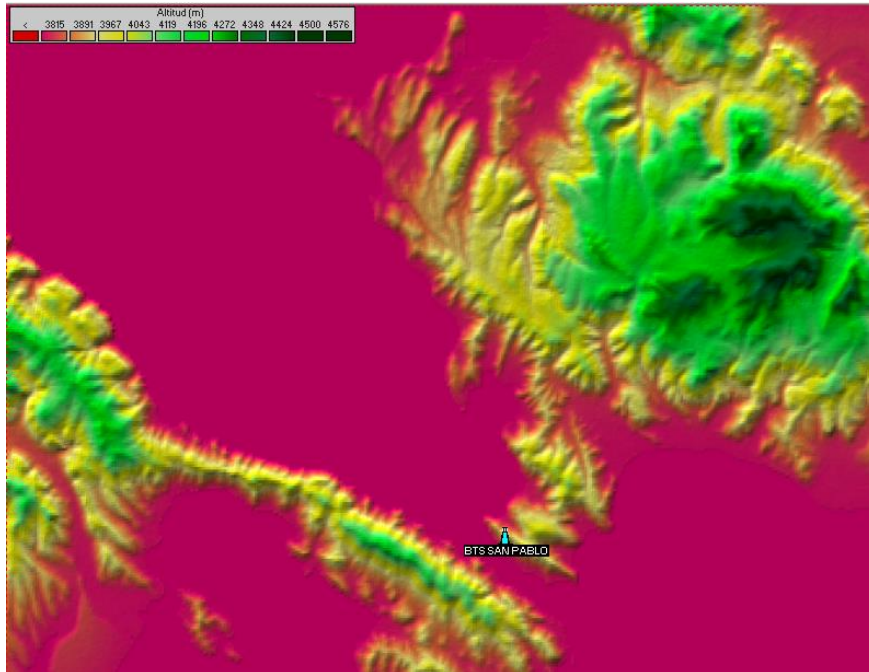


Figura 25. Extracción desde internet del mapa

2.17.2.- CONFIGURACIÓN DE LA RED

La red se denomina 4G para toda la localidad y adyacentes, teniendo como sistemas el nodo B y sus respectivos móviles.

A screenshot of the 'Propiedades de las redes' dialog box. The 'Parámetros' tab is selected. The 'Lista de todas las redes' shows 'SAN PABLO DE TIQUINA 4G' selected. The 'Parámetros' section includes: 'Nombre de la red' (SAN PABLO DE TIQUINA 4G), 'Frecuencia mínima (MHz)' (824), 'Frecuencia máxima (MHz)' (849), 'Polarización' (Vertical selected), 'Modo estadístico' (Móvil selected, 70% de situaciones), 'Refractividad de la superficie (Unidades-N)' (301), 'Conductividad del suelo (S/m)' (0,005), 'Permitividad relativa al suelo' (15), and 'Clima' (Marítimo templado sobre la tierra selected).

Figura 26. Parámetros de las redes

Entre los parámetros más importantes se encuentran el nombre de la red que se llama “San Pablo de Tiquina 4G”, teniendo como una frecuencia de operación máxima de 849 MHz (Downlink) y una mínima de 824 MHz (Uplink).

Se toman otras consideraciones como el modo estadístico que se selecciona el móvil de ejemplo.

En el clima la opción “marítimo templado sobre la tierra”

2.17.3.- CONFIGURACIÓN DE LOS SISTEMAS

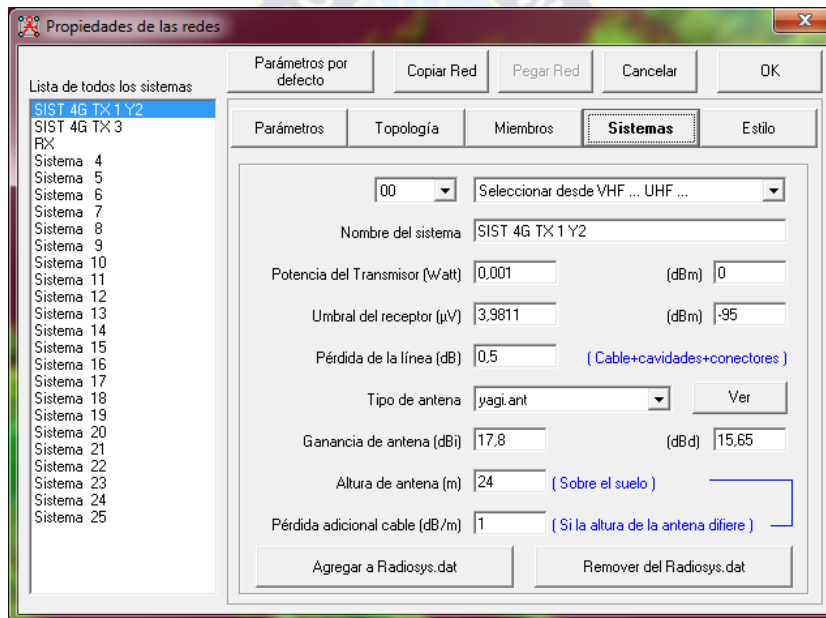


Figura 27. Definición de sistemas

En estos renombramos a cada uno de los sistemas en función del rol que desempeñan, para un sistema 4G que tiene como referencia sus transmisores 1 y 2 (estando a la misma altura), colocamos los parámetros de potencia de transmisor en dbm, umbral del receptor en dbm, tipo de antena, ganancia de la antena, su altura y pérdida adicional del cable.

2.17.4.- COBERTURA DEL SISTEMA

Habiendo introducido los parámetros exigidos para tal efecto en el punto anterior, añadimos las propiedades que se deben introducir para la cobertura.

Figura 28. Parámetros definición de cobertura

Para nuestro ejemplo disponemos como unidad central BTS San Pablo, la unidad móvil y la red propiamente dicha 4G, elegimos el contorno característico de cobertura para una mejor simulación, parámetros de umbral, y del alcance hasta dónde llegar el umbral.

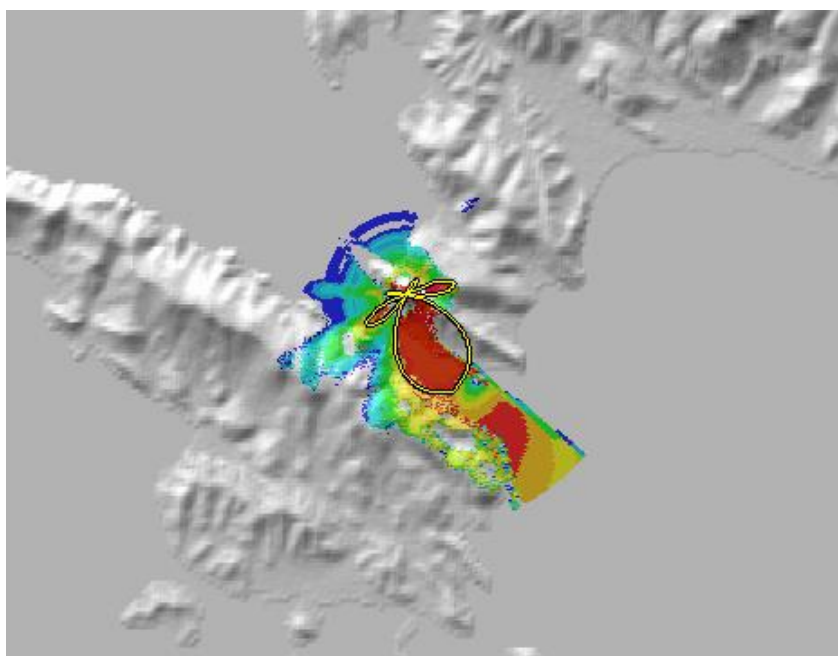


Figura 29. Lóbulo de radiación 1

Donde cada color representa un nivel de señal distinta recibida por el móvil, como veremos a continuación.

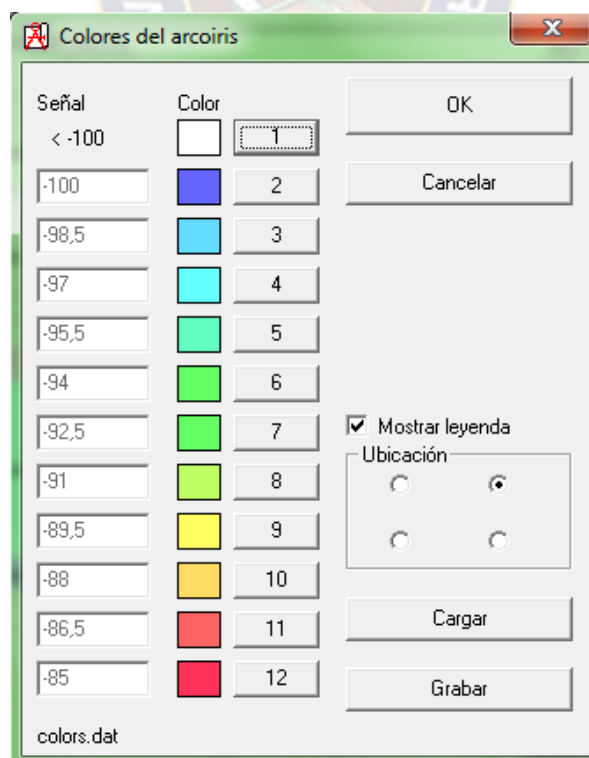


Figura 30. Definición de colores por señal

Siendo el color azul valor mínimo y deficiente del umbral recibido por el receptor, el rojo siendo la señal óptima de recepción.

Como es un sistema sectorizado, volvemos a realizar la simulación para las otras antenas transmisoras.

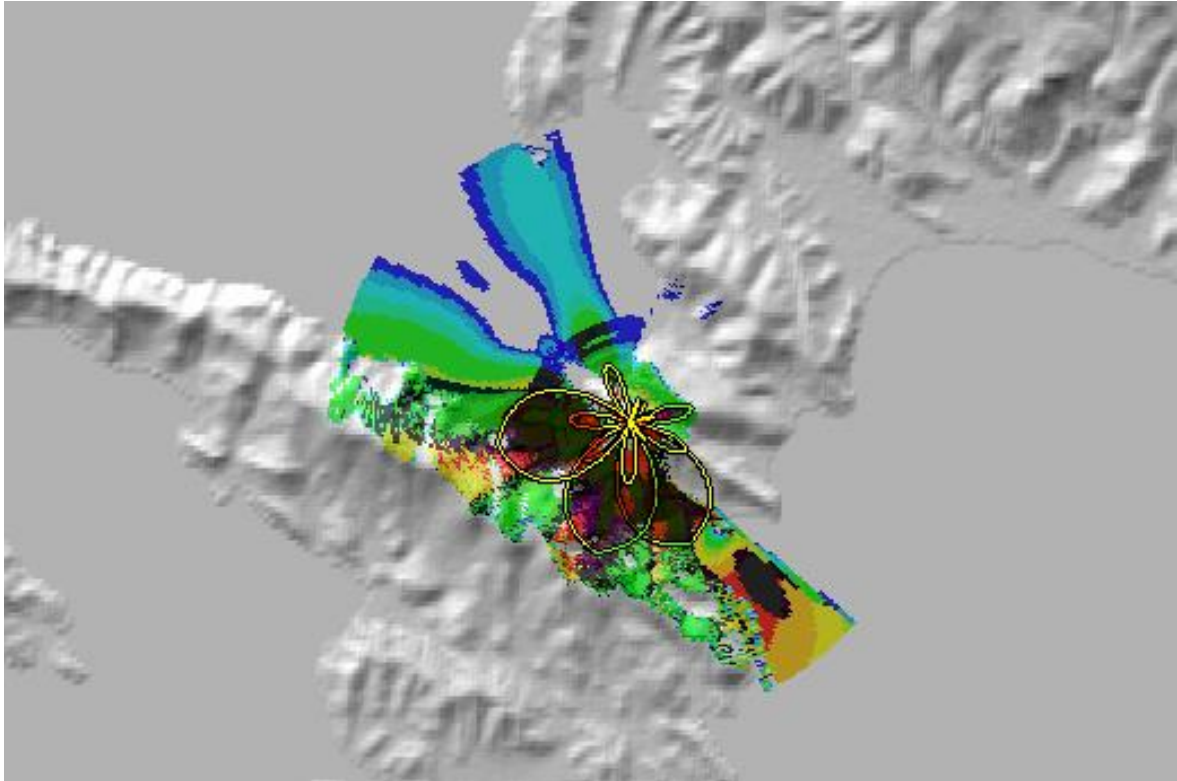


Figura 31. Área total de cobertura

Cumpliendo así con las expectativas del diseño, reflejando el servicio por el otro lado del pueblo mediante sus lóbulos laterales.

3.1.- EMPLAZAMIENTO

Sus coordenadas de la figura 32 son 16°13'0" N y 68°49'60"

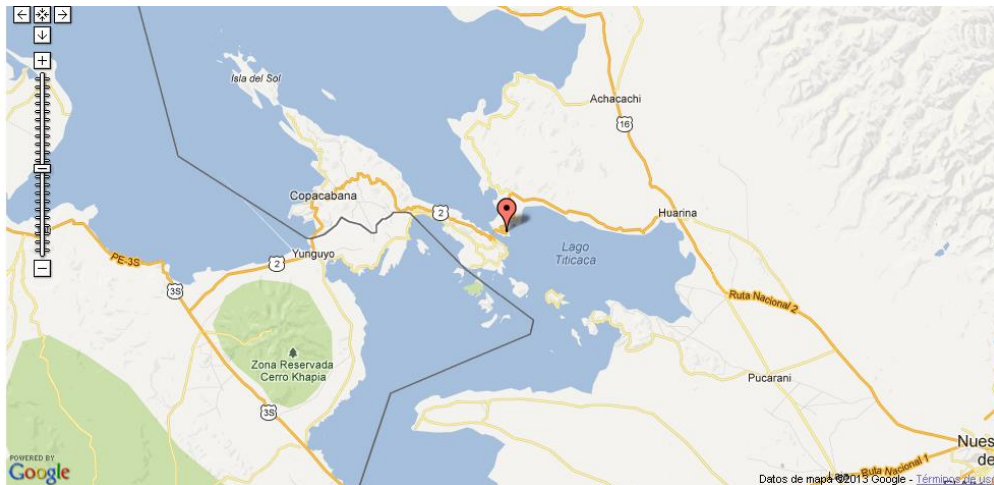


Figura 32. San Pablo de Tiquina (fuente Google Earth)

3.2.- ESTACIÓN DE RADIO BASE TIQUINA :

Para poder ubicar el lugar estratégico se fue a verificar la línea de vista hacia las poblaciones que rodean, Tipo de Suelo, Acceso, Energía y el área donde se instalará un nuevo radio base. Desde este punto se llegará con cobertura de telefonía móvil a poblaciones San Pablo de Tiquina, San Pedro de Tiquina 3245 Habitantes en las dos poblaciones, Corihuaya 510 Habitantes, Calata San Martín 480 Habitantes, Huaracayabelen 500 Habitantes, Jankho Amaya 380 Habitantes y ruta principal a Copacabana.

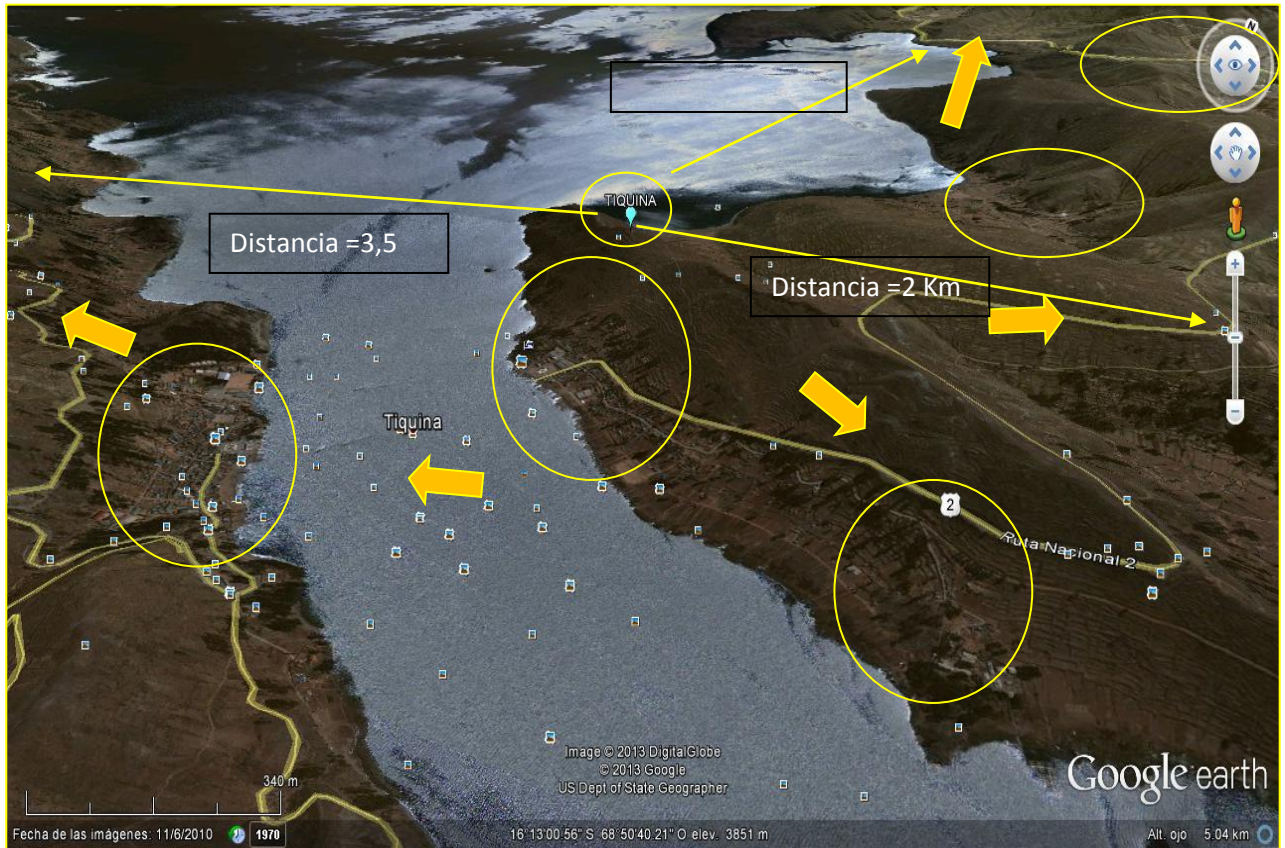


Figura 33. Zonas de Cobertura (fuente Google earth)
Tendrá tres Sectores: Con las siguiente Azimut Aproximadas.
Sector 1: 155° Sector 2: 195° Sector 3: 260°

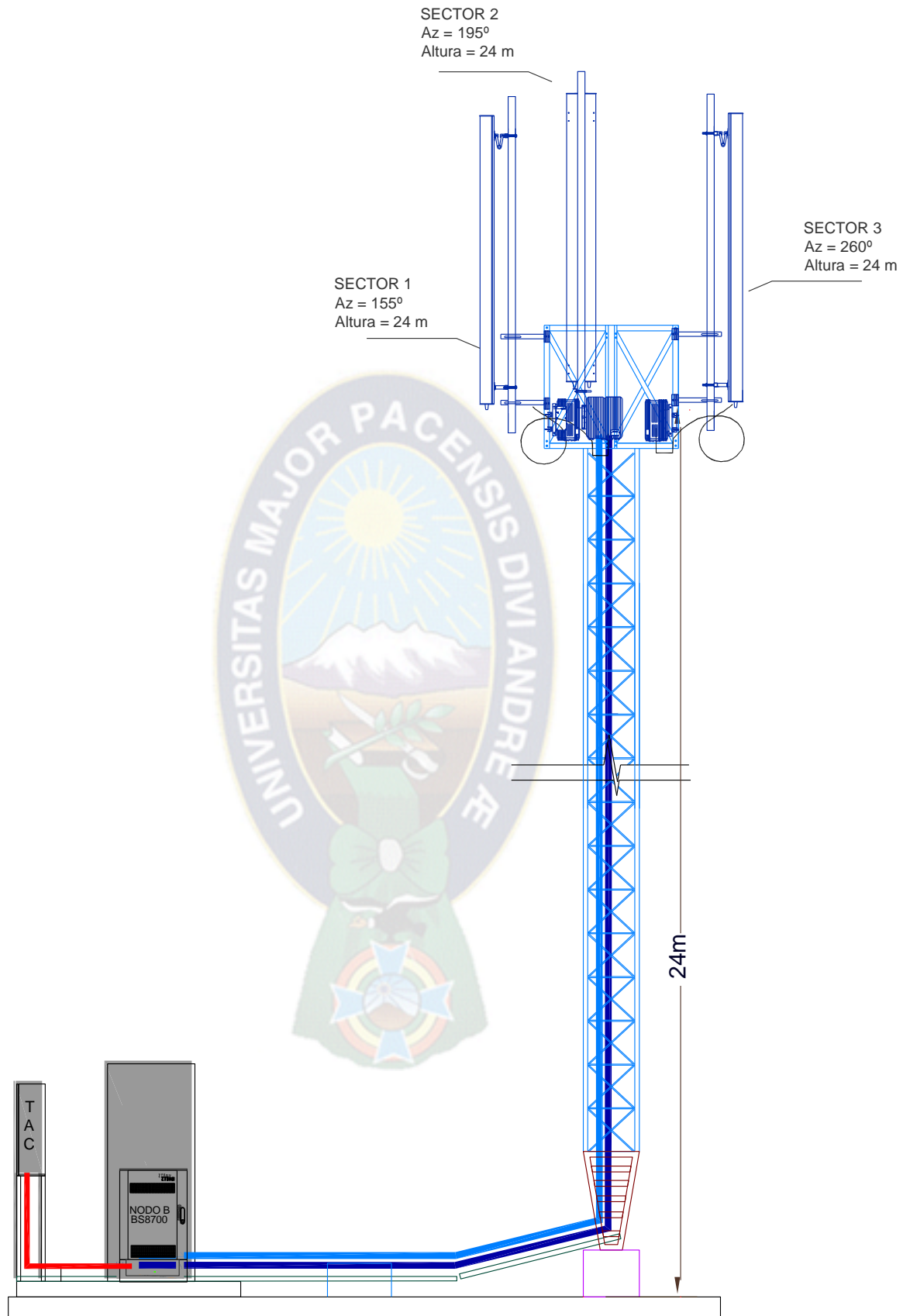


Figura 34. Vista lateral de la estructura (fuente Entel)



Figura 35. Antena sector 1 (fuente Entel)



Figura 36. Antena sector 3 (fuente Entel)

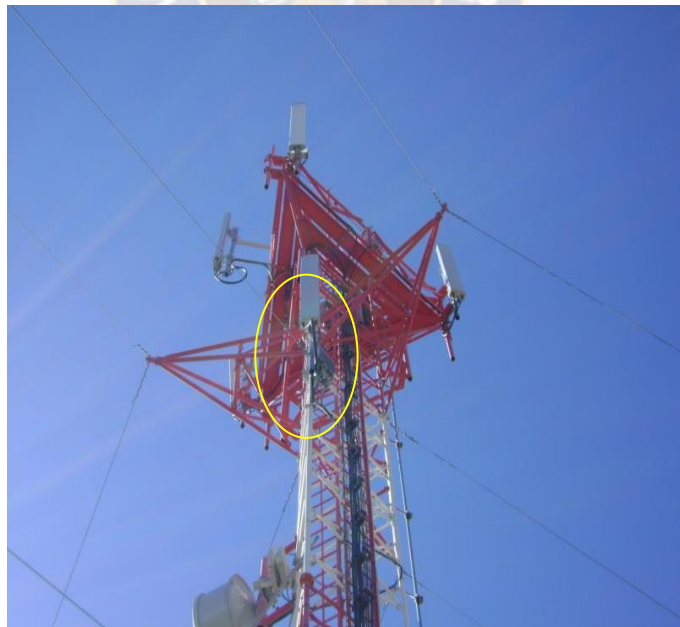


Figura 37. Antena sector 2 (fuente Entel)



Figura 38. Lóbulo de radiación 1 (fuente propia)

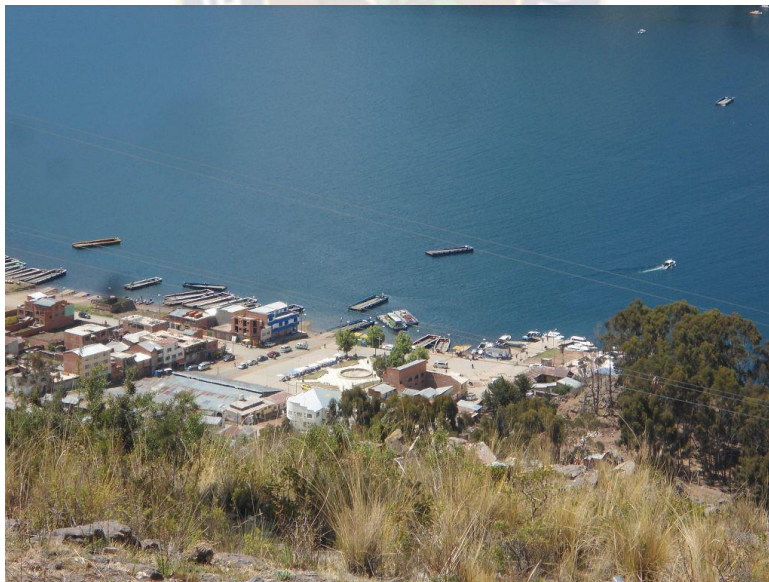


Figura 39. Lóbulo de radiación 2 (fuente propia)



Figura 40. Lóbulo de radiación 3 (fuente propia)

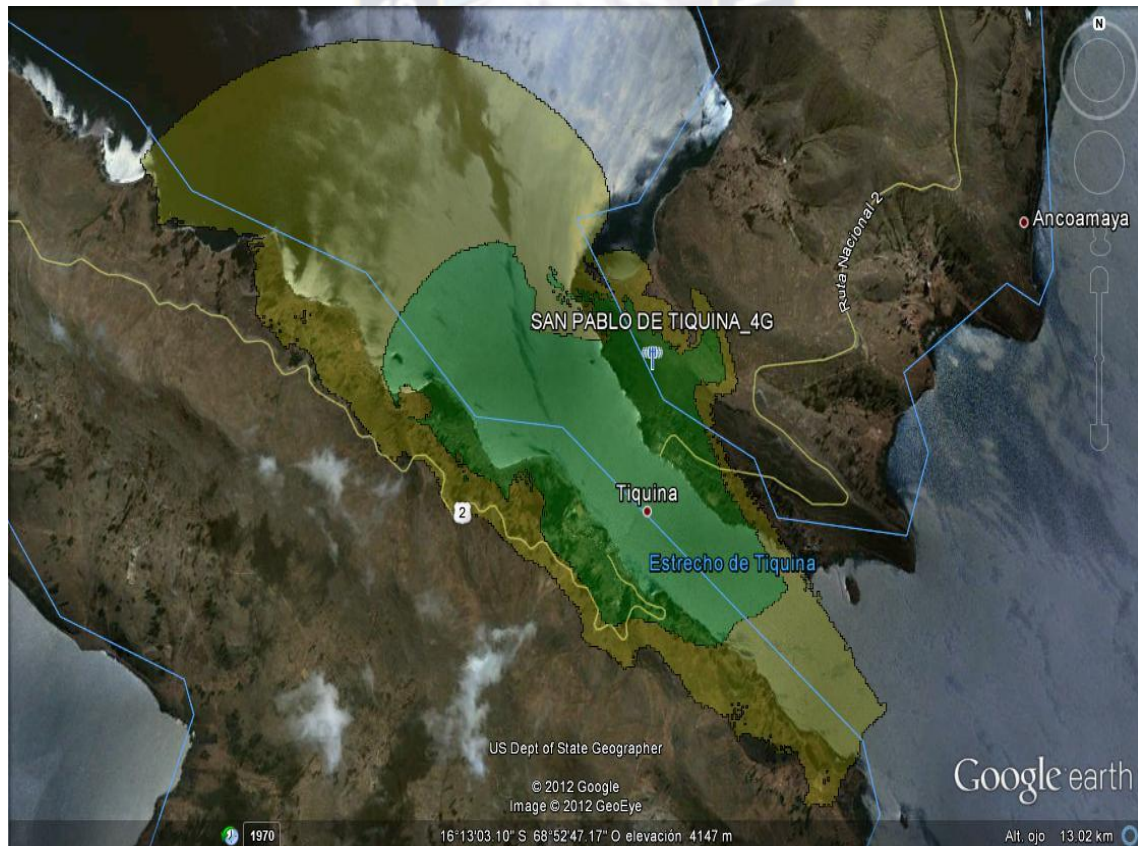


Figura 41. Área de cobertura (fuente Entel)

En la figura 41 el área verde representa el nivel óptimo de servicio, el área de color amarillo el nivel estándar de servicio (dentro del umbral)

3.3.- ACCESO Y ENERGÍA



Figura 42. Electrificación (fuente Google earth)

Se requiere habilitar el acceso al sitio de una distancia de 1,17 Km desde la carretera,

Se requiere 7 postes de concreto para llegar con energía hasta la estación.

Se deberá de implementar una torre Arriostrada de 24 metros.

La superficie pertenece a la Población de San Pablo de Tiquina.

No existen obstáculos.

El terreno es montañoso.

3.4.- PLANIFICACIÓN DE COBERTURA:

Dentro de la cual se revisa los requerimientos de cobertura, sistema radiante, posición estratégica, continuidad de cobertura y control de potencia. Además se estudiarán los principales parámetros de medición de calidad, factores principales que afectan a la calidad de la señal y medida de la calidad.

A menudo, leemos mucha información en Internet sobre la cobertura de los móviles, su uso y sus diferentes connotaciones. Para empezar, hay que dejar claro el concepto de cobertura de red. La cobertura de red es la señal que recibe el terminal o dispositivo que

estás utilizando para comunicarte. Además, la cobertura comprende el área geográfica en la cual se dispone de un determinado servicio, ya sea de voz o de datos.

Es importante indicar que algunos factores pueden afectar al nivel de cobertura que podemos obtener. Los factores más importantes a tener en cuenta son:

1. **Distancia a la antena más cercana:** Uno de los factores que influyen en la cobertura es la distancia a la que estemos de la antena, ya que cuanto mayor sea la distancia, tendremos menos señal en nuestro terminal.
2. **Propagación y obstáculos:** La cobertura se produce mediante ondas y de modo que cualquier obstáculo del terreno que esté situado entre el dispositivo y la antena puede afectar a la cobertura.
3. **Ubicación interior o exterior:** Por regla general, la cobertura suele ser peor en el interior de edificios que en el exterior. Además, como las ondas 2G penetran mejor que las ondas 3G, en algunos interiores se puede tener sólo cobertura 2G. También influyen algunos materiales usados en la construcción de determinados edificios.
4. **Tipo de dispositivo:** No todos tienen la misma calidad. Además, cualquier golpe o accidente puede afectar negativamente a su normal funcionamiento.
5. **Problemas técnicos puntuales del sistema de red:** Los cuales pueden suponer problemas de cobertura ocasionales y siempre limitados en el tiempo.

Llegados a este punto, hemos de señalar que la red ofrece varios tipos de cobertura:

- **Cobertura 2G/2.5G (Red GSM/GPRS)**
Sirve para hacer llamadas y enviar SMS, así como para navegar por Internet a baja velocidad (contenidos ligeros)
- **Cobertura 3G/3G+ (Red UMTS)**
Sirve también para hacer llamadas y enviar SMS, y además permite navegar por Internet a alta velocidad, acceder al email y redes sociales, enviar fotos y vídeos, descargar o enviar fotos, oír música en línea, etc.
- **Cobertura HSPA+ (Red 4G)**
Todos los servicios multimedia mencionados anteriormente, están basados en el protocolo IP

El nivel de cobertura que se tenga en la terminal depende de la distancia a la cual se encuentre respecto a la antena más cercana. La manera más rápida y sencilla de saber el nivel de cobertura que se tiene en el sitio en el que se encuentra, es mirar la indicación de barras de cobertura en el móvil, ya que sea el modelo y tenga el sistema operativo que posea esta queda fácilmente identificada en la pantalla del mismo. Generalmente, suele aparecer en la parte superior derecha de la pantalla.

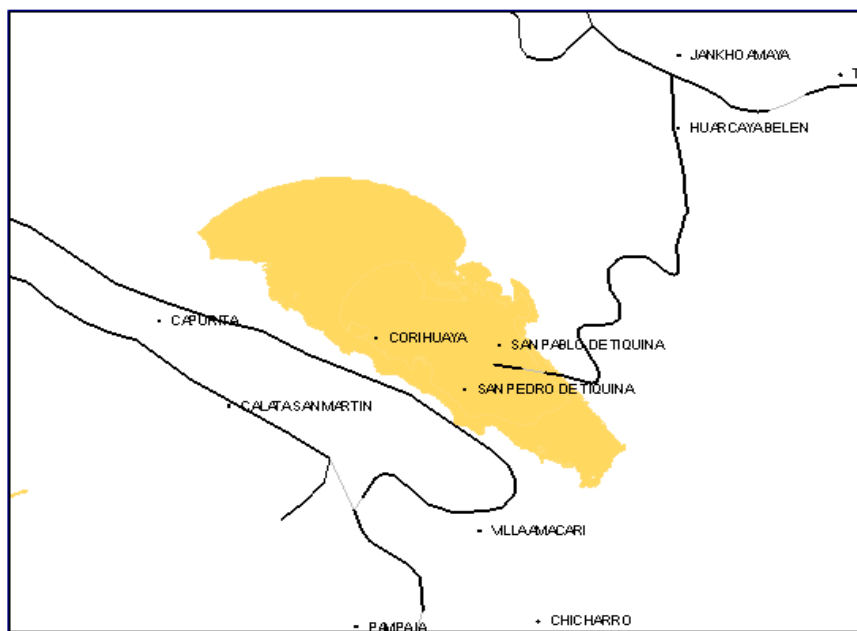


Figura 43. Mancha de cobertura (fuente Entel)

Como se puede observar cubrirá las poblaciones de San Pablo de Tiquina, San Pedro de Tiquina, Corihuaya y otras poblaciones aledañas.

3.5.- DISEÑO TÉCNICO

3.5.1.- DATOS DEL EMPLAZAMIENTO

| DEPARTAMENTO | PROVINCIA | SECCIÓN | COMUNIDAD | SITIO | LATITUD | LONGITUD |
|--------------|-------------|--|----------------------|-------------------------|------------|------------|
| La Paz | Manco Kapac | Segunda Sección – San Pedro de Tiquina | San Pablo de Tiquina | San Pablo de Tiquina_4G | -16,208603 | -68,849269 |

| Descripción | Datos |
|---------------------------------|---|
| Titular de la licencia | ENTEL S.A. |
| Servicio | HSPA+ |
| Nombre del emplazamiento | SAN PABLO DE TIQUINA_4G |
| Departamento | LA PAZ |
| Provincia | MANCO KAPAC |
| Dirección | Cerro Putuputuni Chico, situado al Noroeste de la localidad de San Pablo de Tiquina |
| Latitud (Sur) | 16° 12' 30.97" |
| Longitud (Oeste) | 68° 50'57.37" |

Tabla 5
Datos generales del emplazamiento (fuente Entel)

| | Azimuth Beamwidth(°) | Elevation Beamwidth(°) | Altura de las antenas | Azimuth (°) | Estructura |
|-----------------|----------------------|------------------------|-----------------------|-------------|-------------------|
| Sector 1 | 65 | 7.5 | 24 | 155 | TORRE ARRIOSTRADA |
| Sector 2 | 65 | 7.5 | 24 | 195 | TORRE ARRIOSTRADA |
| Sector 3 | 65 | 7.5 | 24 | 260 | TORRE ARRIOSTRADA |

Tabla 6
Datos específicos del emplazamiento (fuente Entel)

3.5.2.- BANDA DE OPERACIÓN ASIGNADA

La Autoridad de Fiscalización y Control Social de Telecomunicaciones y Transportes (ATT) dispuso que la banda de frecuencia asignada para que opere ENTEL S. A. es la banda B, la cual en el espectro radioeléctrico se encuentra constituida por uplink y el downlink cuyas frecuencias se indican en la tabla 7.

| | Bandas de frecuencias "B" | Banda B extendida |
|----------|---------------------------|---------------------|
| Uplink | 835 MHz - 845 MHz | 846.5 MHz - 849 MHz |
| Downlink | 880 MHz - 890 MHz | 891.5 MHz - 894 MHz |

Tabla 7
Asignación de la banda de frecuencia (banda B) fuente Entel

3.5.3- CALCULO DE LA POTENCIA DE RADIACIÓN (EIRP)

El cálculo realizado para encontrar la potencia isotrópica radiada equivalente (EIRP) según los datos de la estación radio base se presenta en la tabla 8.

| | Potencia de salida de la BTS (dBm) | Ganancia de la antena (dBi) | EIRP (dbm) |
|----------|------------------------------------|-----------------------------|------------|
| Sector 1 | 0 | 17.8 | 17.8 |
| Sector 2 | 0 | 17.8 | 17.8 |
| Sector 3 | 0 | 17.8 | 17.8 |

Tabla 8
Cálculo de la Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (EIRP) fuente Entel

3.6.- MEDICIÓN EN BANDA ANCHA

3.6.1.- Instrumento de Medición

El instrumento realiza medidas precisas de la intensidad de campo eléctrico y densidad de potencia en entornos sujetos a niveles de radiación electromagnética, debido a que la medición abarca un espectro de frecuencia de 100 KHz a 3 GHz, se considera la medición como banda ancha.

3.6.2.- Resultados de la Medición

Se han tomado en cuenta las mediciones de la densidad de potencia en áreas no controladas y áreas controladas, la unidad de dicha medición son milivatios por centímetro cuadrado (mW/cm²).

| | Valor | Punto A | Punto B | Punto C |
|-----------------|----------|---------|---------|---------|
| Sector 1 | Máximo | 0.00122 | 0.00086 | 0.00020 |
| | Promedio | 0.00085 | 0.00034 | 0.00008 |
| Sector 2 | Máximo | 0.00132 | 0.00060 | 0.00011 |
| | Promedio | 0.00055 | 0.00021 | 0.00001 |
| Sector 3 | Máximo | 0.00104 | 0.00078 | 0.00030 |
| | Promedio | 0.00078 | 0.00031 | 0.00013 |

Tabla 9
Resultados de la medición de la densidad de potencia en mW/cm² en áreas No controladas (fuente Entel)

Para áreas no controladas los resultados muestran las mediciones a 2, 10 y 50 metros (en lo posible) representadas por los puntos A, B y C respectivamente de las mediciones de los valores máximo y promedio (ver tabla 9).

Para áreas controladas los resultados se presentan en uno de los tres puntos señalados como D, E y F, siendo éstas: D, próximo al equipo de la estación radiobase; E, base de la torre y F base del monoposte en azotea de edificio (ver tabla 10).

| Valor | Punto D | Punto E | Punto F |
|-----------------|---------|---------|---------|
| Máximo | 0.00121 | 0.00108 | - |
| Promedio | 0.00063 | 0.00071 | - |

Tabla 10
Resultados de la medición de la densidad de potencia en mW/cm² en áreas controladas (fuente Entel)

Donde:

Punto A: a 2 metros de la RBS en dirección de máxima radiación

Punto B: a 10 metros de la RBS en dirección de máxima radiación

Punto C: a 50 metros de la RBS en dirección de máxima radiación

Punto D: próximo al equipo de la estación radiobase

Punto E: base de la torre (suelo)

Punto F: base de la antena (azotea del edificio)

3.7.- CONCLUSIONES

De acuerdo a los valores obtenidos en las mediciones de la intensidad de campo eléctrico y de la densidad de potencia en banda ancha, comprendida entre 100 kHz y 3000 MHz, se debe indicar que los niveles de densidad de potencia encontrados son inferiores al nivel límite de referencia que señala el “Estándar Técnico de Límites de Exposición Humana a Campos Electromagnéticos” emitido por la Autoridad de Fiscalización y Control Social de Telecomunicaciones y Transportes (ATT).

3.8.- RECOMENDACIONES





Para tal efecto es necesario tanto en el diseño como en la implementación tener sumo cuidado con los parámetros de potencia, azimut, elevación, manejo de energía al momento de instalar y estar bien equipados con los arneses respectivos.















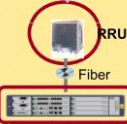
ANEXOS

3.9.- DATOS TÉCNICOS DEL NUEVO EQUIPO (ZTE)

| | |
|--|---|
|  <p>ZXC10-MSC/VLR Maximum capacity 600,000 Subs Flexible configuration</p> |  <p>ZXC10 MSCe/MGW All-IP Platform Maximum traffic 60,000 Erlang Flexible configuration</p> |
|  <p>ZXC10-HLR/AuC Maximum capacity 1,200,000 subs Flexible configuration</p> |  <p>ZXC10 HLRe Maximum capacity 6,000,000 subscribers Flexible configuration</p> |

| | |
|--|--|
|  <p>ZXC10-PDSN (P100) Maximum supported data subscribers: 120,000 Maximum active PPP: 10000 Maximum throughput ; 200Mbps Support Cluster</p> |  <p>ZXPDS P200 All-IP Platform Maximum active PPP: 480,000 Maximum throughput: 4.8G</p> |
|--|--|

| | All IP Structure | | SDR | |
|--------------------|--|--|---|---|
| Indoor BTS | <p>ZXC10-CBTS Support CDMA2000 1x & EV-DO Maximum 12 CS /Rack Footprint 600mm*600mm</p>  | <p>ZXC10-BTSB Support CDMA2000 1x & EV-DO Maximum 24 CS /Rack Footprint 600mm*600mm</p>  | <p>ZXSDR-BS8800 Support CDMA2000 1x & EV-DO Smooth evolves to LTE Maximum 48 CS /Rack Footprint 600mm*450mm</p>  | <p>ZXSDR-BS8200 (FemtoCell) Support 1X/EVDO</p>  |
| Outdoor BTS | <p>ZXC10-MBTS Support 1x or EV-DO Maximum 1CS/Box Weight: 37kg/Box</p>  | <p>ZXC10-CBTS 01 Support 1x & EV-DO Maximum 12CS/Rack Footprint 900mm*780mm</p>  | <p>ZXSDR-R8860 Maximum 8C1S per unit TOC: 60W</p>  | <p>ZXSDR-BS8900 Support CDMA2000 1x & EV-DO Smooth evolves to LTE Maximum 48 CS /Rack</p>  <p>Footprint 600mm*600mm</p> |



ZXSDR-B8200
 Support 1x & EV-DO
 Smooth Evolutes to LTE
 Maximum 36CS/2U Unit

Figura 44. ZTE Datos técnicos (fuente internet)

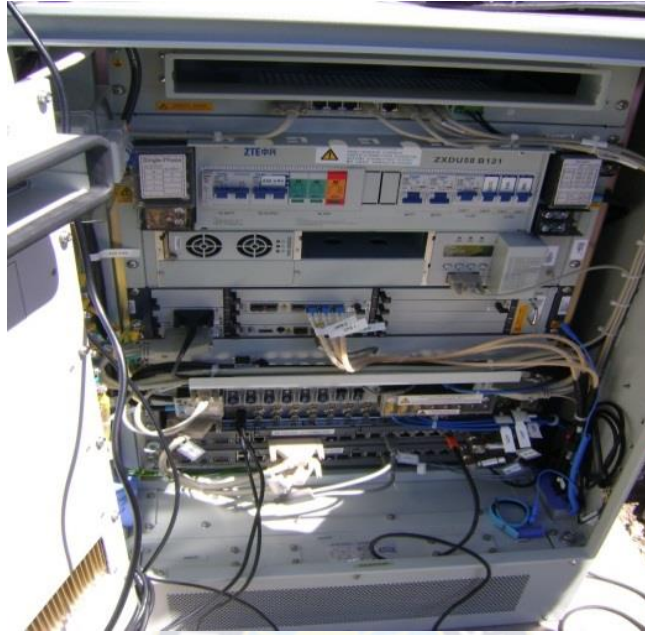


Figura 45. Cableado del equipo (fuente Entel)



Figura 46. Vista desde afuera (fuente Entel)

3.10.- PARÁMETROS DEL EQUIPO

| | | | |
|------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| <i>Altura de antena (m)</i> | 24 | 24 | 18 |
| <i>Azimuth (*)</i> | 155 | 195 | 260 |
| <i>Modelo de Antena</i> | LBX-6516DS-VTM | LBX-6516DS-VTM | LBX-6516DS-VTM |
| <i>Til Electrico</i> | 6 | 5 | 2 |
| <i>Til Mecanico</i> | 0 | 0 | 0 |
| <i>Tipo de Antena</i> | Sectorial | Sectorial | Sectorial |
| <i>Lobulos Horizontales</i> | 65/7.5 | 65/7.5 | 65/7.5 |
| <i>Ganancia de la Antena</i> | 17,8 | 17,8 | 17,8 |
| <i>OUT Power (mw)</i> | 1 | 1 | 1 |
| <i>OUT Power (dbm)</i> | 0 | 0 | 0 |
| <i>Tipo de FO</i> | Multimodo | Multimodo | Multimodo |

Tabla 11 Parámetros circuitales (fuente Entel)



3.11.- BIBLIOGRAFÍA

- Apuntes de clase
- www.ine.gov.bo
- www.huawei.com
- www.att.gov.bo
- Apuntes de internet
- Informe previo Entel



3.12.- ACRÓNIMO

| | |
|----------------|---|
| GPRS | General Packet Radio Service |
| GSM | Global System for Mobile |
| EDGE | Enhanced Data Rates for GSM Evolution |
| 3GPP | 3rd Generation Partnership Project |
| UMTS | Universal Mobile Telecommunications System |
| LTE | Long Term Evolution |
| WIMAX | Worldwide Interoperability for Microwave Access |
| HSPA | High-Speed Packet Access |
| MME | Movilidad entidad de gestión |
| MIMO | Multiple-input Multiple-output |
| HSS | Home Subscriber Server |
| IMS | IP Multimedia Subsystem |
| EIRP | potencia radiada isotropica efectiva |
| WIFI | Wireless Fidelity |
| ADSL | Asymmetric Digital Subscriber Line |
| IEEE | Institute of Electrical and Electronics Engineers |
| QPSK | cuadratura Phase Shift Keying |
| OFDMA | Orthogonal Frequency Division Multiple Access |
| SC-FDMA | Single carrier FDMA |
| QAM | Quadrature amplitude modulation |
| TDMA | Time division multiple acces |
| CDMA | Code division multiple acces |
| IPv6 | Internet protocol version 6 |
| E-UTRAN | Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network |
| SGSN | serving GPRS support node |
| SAE | System Architecture Evolution |
| PCRF | Policy and Charging Rules Function |
| BS | Base Station |
| UT | User Terminal |
| RN | Relay Node |
| RAP | Radio Access Point |