



**Diseño de una estación base para su integración en una red celular con tecnología UMTS y LTE  
en una estación referencial**

Escobar Chamba, Andrea Nataly

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería En Electrónica y Telecomunicaciones

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniera en Electrónica y  
Telecomunicaciones

Msc. León Vázquez, Rubén Darío





19 de marzo del 2021



### Document Information

Analyzed document	Trabajo_Titulacion_Escobar Andrea_URKUND.docx (D98973084)	
Submitted	3/19/2021 9:06:00 PM	 <small>Escobar Andrea</small> <small>ROBEN DARIO</small> <small>LEON VASQUEZ</small>
Submitted by	León Vásquez Rubén Darío	
Submitter email	rleon@espe.edu.ec	
Similarity	5%	
Analysis address	rleon.espe@analysis.arkund.com	

### Sources included in the report

<b>W</b>	URL: <a href="https://core.ac.uk/download/pdf/250143689.pdf">https://core.ac.uk/download/pdf/250143689.pdf</a> Fetched: 12/8/2020 9:52:26 AM	 2
<b>SA</b>	<b>BYRON_ SOLORZANO_TT.docx</b> Document BYRON_ SOLORZANO_TT.docx (D35781733)	 1
<b>SA</b>	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / <b>Trabajo_Titulacion_Chamorro_Estefanny_Guillen_Joselyn_URKUND.docx</b> Document Trabajo_Titulacion_Chamorro_Estefanny_Guillen_Joselyn_URKUND.docx (D77276534) Submitted by: rleon@espe.edu.ec Receiver: rleon.espe@analysis.arkund.com	 3
<b>W</b>	URL: <a href="https://docplayer.es/87955669-Universidad-tecnica-del-norte-facultad-de-ingenieria-...">https://docplayer.es/87955669-Universidad-tecnica-del-norte-facultad-de-ingenieria ...</a> Fetched: 5/24/2020 6:53:19 PM	 5
<b>SA</b>	<b>Marlon Dandy Ayala Quispe_Informe Suficiencia.pdf</b> Document Marlon Dandy Ayala Quispe_Informe Suficiencia.pdf (D40159544)	 5
<b>SA</b>	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / <b>TESIS FINAL IMPRIMIR.pdf</b> Document TESIS FINAL IMPRIMIR.pdf (D25457695) Submitted by: doalulema@espe.edu.ec Receiver: doalulema.espe@analysis.arkund.com	 1
<b>W</b>	URL: <a href="http://repositorio.uigv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.11818/1566/TESIS_%20CHARLES...">http://repositorio.uigv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.11818/1566/TESIS_%20CHARLES ...</a> Fetched: 12/4/2020 7:15:52 AM	 2



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, “**Diseño de una estación base para su integración en una red celular con tecnología UMTS y LTE en una estación referencial**” fue realizado por la señorita **Escobar Chamba Andrea Nataly** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 19 de marzo del 2021

Firma:



**Msc. León Vásquez, Rubén Darío**

C. C. 180165454284

Investigador CICTE-DEET-ESPE



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA**

Yo, **Escobar Chamba, Andrea Nataly**, con cédula de ciudadanía n° 1723508857, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Diseño de una estación base para su integración en una red celular con tecnología UMTS y LTE en una estación referencial.”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

**Sangolquí, 19 de marzo de 2021**

Firma

**Escobar Chamba, Andrea Nataly**

C.C.: 1723508857



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN**

Yo **Escobar Chamba, Andrea Nataly**, con cédula de ciudadanía n° 1723508857, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Diseño de una estación base para su integración en una red celular con tecnología UMTS y LTE en una estación referencial.”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

**Sangolquí, 19 de marzo del 2021**

Firma

**Escobar Chamba, Andrea Nataly**

C.C.: 1723508857

### **Dedicatoria**

*A Dios por darme vida para terminar esta etapa de mi vida.*

*A mis padres Vicente y Luz, por guiarme en cada momento de mi vida; por sus consejos, apoyo y amor incondicional.*

*A mis hermanos Edwin, Alexandra, David y Gisel que siempre me dan fuerza para seguir adelante.*

*A mis sobrinos Jimmy, Mathias, Ninoska, Johan, Alejandro e Israel que con su inocencia y cariño llenan mi vida de alegría y felicidad.*

*Andrea Nataly Escobar Chamba*

## **Agradecimiento**

*A Dios y la Virgen del Cisne por darme fuerzas para terminar mi carrera; por guiarme y bendecirme en cada instante de mi vida.*

*A mis padres por su apoyo incondicional; porque cada consejo ayudo a mi formación personal y académica; porque son mi ejemplo de superación y perseverancia.*

*A mis hermanos por cada palabra de aliento para cumplir con mis metas.*

*Al Ing. Christian González por darme la oportunidad de trabajar en su empresa y fortalecer conocimientos en el ámbito profesional.*

*A mi director Msc. Rúben León que con su paciencia, conocimiento y experiencia fue parte fundamental en el desarrollo de mi proyecto de tesis.*

*A mi familia y amigos que creyeron en mí.*

*Andrea Nataly Escobar Chamba*

## Índice de Contenidos

Urkund.....	2
Certificación .....	3
Responsabilidad de Autoría .....	4
Autorización de Publicación.....	5
Dedicatoria .....	6
Agradecimiento.....	7
Índice de Contenidos.....	8
Índice de Tablas.....	11
Indice de Figuras .....	12
Resumen.....	14
Abstract .....	15
Capítulo I .....	16
Descripción.....	16
Introducción.....	16
Justificación e Importancia .....	16
Alcance del Proyecto .....	17
Objetivos.....	17
Objetivo General.....	17
Objetivos Específicos .....	18
Resumen de Contenidos.....	18
Capítulo II .....	19
Marco Teórico .....	19
Sistema UMTS.....	19



Características.....	19
Arquitectura UMTS .....	19
Parámetros de cobertura y calidad en tecnología UMTS .....	21
Sistema LTE .....	22
Características.....	22
Arquitectura LTE .....	23
Técnicas de Acceso Múltiple en LTE .....	24
Parámetros de cobertura y calidad en tecnología LTE .....	25
Características de diseño. ....	27
Unidad de radio Remota RRU. ....	27
Unidad de procesamiento de banda base BBU .....	27
Antenas.....	28
Azimuth.....	29
Tilt eléctrico .....	29
Tilt mecánico.....	30
Modelos de propagación .....	30
Capítulo III .....	32
Diseño .....	32
Planificación.....	32
Zona de búsqueda .....	32
Mapa de ubicación de la zona de estudio. ....	32
Perfil de elevación. ....	34
Validación de radiofrecuencia .....	35
Fotos panorámicas.....	35
Objetivo de cobertura.....	36
Configuración de radiofrecuencia.....	37
Technical Site Survey (TSS) .....	39
Requerimientos de Obra Civil .....	39
Levantamiento de Radiofrecuencia .....	41
Predicciones UMTS .....	50

	10
Predicciones LTE .....	53
Capítulo IV .....	57
Análisis de Resultados.....	57
Walk Test .....	57
Análisis de parámetros en UMTS.....	57
Análisis de parámetros en LTE .....	59
Site Verification Single (SSV).....	60
Análisis de parámetros UMTS en el sector X .....	60
Análisis de parámetros UMTS en el sector Y .....	62
Análisis de parámetros LTE en el sector X .....	64
Análisis de parámetros LTE en el sector Y .....	66
Capítulo V .....	69
Conclusiones y recomendaciones.....	69
Conclusiones .....	69
Recomendaciones.....	70
Simbología.....	71
Bibliografía .....	72
Anexos.....	75

## Índice de Tablas

Tabla 1 Rango de valores de RSCP .....	21
Tabla 2 Rango de valores de $E_c/I_0$ .....	22
Tabla 3 Características de LTE .....	23
Tabla 4 Niveles de RSRP .....	26
Tabla 5 Niveles de SINR.....	26
Tabla 6 Descripción de Tecnología.....	32
Tabla 7 Candidatos de la estación base .....	33
Tabla 8 Configuración de la antena.....	38
Tabla 9 Requerimientos de obra civil.....	40
Tabla 10 Cálculo de RRU a implementar .....	43
Tabla 11 Características técnicas de AQU4518R9.....	44
Tabla 12 Configuración de jumper para UMTS .....	46
Tabla 13 Configuración de jumper para LTE .....	47
Tabla 14 Parámetros de configuración de UMTS.....	50
Tabla 15 Configuración de parámetros en LTE .....	53
Tabla 16 Resultados UMTS del sector X e Y .....	60
Tabla 17 Resultado de throughput DL UMTS sector X.....	61
Tabla 18 Resultado para Throughput UL UMTS sector X.....	61
Tabla 19 Resultado para Throughput DL UMTS sector Y .....	62
Tabla 20 Resultado para Throughput UL UMTS sector Y .....	63
Tabla 21 Resultados de parámetros LTE en los sectores X e Y.....	64
Tabla 22 Resultado de throughput DL LTE sector X .....	65
Tabla 23 Resultado para Throughput UL LTE sector X .....	65
Tabla 24 Resultado para Throughput DL LTE sector Y .....	66
Tabla 25 Resultado para Throughput UL LTE sector Y .....	67

### Indice de Figuras

Figura 1 Arquitectura de UMTS.....	20
Figura 2 Arquitectura de LTE.....	24
Figura 3 Dominio de la frecuencia de las tecnologías de acceso múltiple LTE. ....	25
Figura 4 Modelo de RRU e instalación de RRU. ....	27
Figura 5 BBU 3900 y Configuración de BBU.....	28
Figura 6 Modelo de antena Huawei AQU4518R9.....	29
Figura 7 Azimuth de la antena.....	29
Figura 8 Tilt eléctrico.....	30
Figura 9 Tilt mecánico.....	30
Figura 10 Ubicación del sitio referencial.....	33
Figura 11 Perfil de elevación del terreno en 90°.....	34
Figura 12 Perfil de elevación del terreno en 170°.....	35
Figura 13 Fotos panorámicas del sitio.....	36
Figura 14 Azimuth de antenas 90° y 170°.....	37
Figura 15 Método gráfico para calcular el tilt mecánico.....	37
Figura 16 Proyección en AUTOCAD de la estación base Corte A-A'.....	41
Figura 17 Simulación en SketchUp de Gabinete de equipos.....	42
Figura 18 Diagrama de proyección de la BBU.....	43
Figura 19 Banco de baterías.....	44
Figura 20 Conexión de antena AQU4518R9.....	45
Figura 21 Simulación en AUTOCAD del Diagrama de conexión a proyectar.....	46
Figura 22 Recorrido DC y FO en UMTS.....	47
Figura 23 Recorrido de DC Y FO en LTE.....	48
Figura 24 Simulación en AUTOCAD del radio máximo de protección del pararrayo.....	48
Figura 25 Simulación en ATOLL del parámetro PSC.....	51
Figura 26 Simulación en ATOLL del parámetro RSCP.....	52
Figura 27 Simulación de ATOLL del parámetro EC/IO.....	53
Figura 28 Simulación en ATOLL de parámetro PCI.....	54
Figura 29 Simulación en ATOLL del parámetro RSRP.....	55

Figura 30 Simulación en ATOLL de parámetro SINR .....	56
Figura 31 Niveles de PSC durante el recorrido.....	57
Figura 32 Niveles de parámetro RSCP durante el recorrido .....	58
Figura 33 Niveles de EC/IO en recorrido UMTS. ....	58
Figura 34 Activación de PCI durante el recorrido. ....	59
Figura 35 Niveles de RSRP del alrededor del sitio.....	60
Figura 36 Promedio de Throughput DL UMTS sector X .....	61
Figura 37 Promedio de Throughput UL sector X.....	62
Figura 38 Promedio de Throughput DL UMTS sector Y .....	63
Figura 39 Promedio de throughput UL UMTS sector Y .....	64
Figura 40 Promedio de Throughput DL LTE sector X .....	65
Figura 41 Promedio de Throughput UL LTE sector X.....	66
Figura 42 Promedio de Throughput DL LTE sector Y.....	67
Figura 43 Promedio de Throughput UL LTE sector Y.....	68

### **Resumen**

Las comunicaciones móviles en Ecuador en el transcurso de los años han presentado avances positivos a través de dispositivos tecnológicos que permiten comunicar e interactuar a los usuarios sin importar a los usuarios la ubicación geográfica. Es por este motivo que se hace hincapié en el diseño de nuevas estaciones bases que permitan cubrir áreas para mejorar el tráfico de voz y datos cuando exista gran cantidad de usuarios en situaciones de aglomeración.

El presente proyecto se direcciona al diseño de una estación base para su integración en una red celular con tecnología UMTS 850 y LTE AWS que permita cubrir el área de cobertura en un sitio referencial.

La metodología que será utilizada es teórica / simulación. Para esto se realizará la simulación en un sitio referencial para poder determinar el lugar adecuado para el diseño de la estación base.

Las actividades que se deben realizar para su diseño son las siguientes: i) Levantamiento de información por medio de una visita técnica para verificar la situación actual del sitio. ii) Validación de radiofrecuencia permite definir el tipo de estructura, azimuth, tilt eléctrico y mecánico y configuración de antenas. iii) El levantamiento del TSS (Technical Site Survey) define las características técnicas de los equipos para analizar el escenario final de la estación base.

Elaborado el diseño de la estación base se realizará la simulación del walk test para verificar los parámetros de la calidad y cobertura en la tecnología UMTS y LTE.

#### **PALABRAS CLAVES:**

- **UMTS**
- **LTE**
- **CALIDAD**
- **COBERTURA**

### **Abstract**

Mobile communications in Ecuador over the years have presented positive advances through technological devices that allow users to communicate and interact regardless of their geographical location. It is for this reason that emphasis is placed on the design of new base stations that make it possible to cover areas for better voice and data traffic when there are large numbers of users in crowded situations.

This project is directed to the design of a base station for its integration in a cellular network with UMTS 850 and LTE AWS technology that allows covering the coverage area in a reference site.

The methodology that will be used is theoretical / simulation. For this, the simulation will be carried out in a reference site in order to determine the appropriate place for the design of the base station.

The activities that must be carried out for its design are the following: i) Gathering of information through a technical visit to verify the current situation of the site. ii) Radio frequency validation allows defining the type of structure, azimuth, electrical and mechanical tilt and antenna configuration. iii) The TSS (Technical Site Survey) survey defines the technical characteristics of the equipment to analyze the final scenario of the base station.

Once the design of the base station has been prepared, the simulation of the walk test will be carried out to verify the quality and coverage parameters in UMTS and LTE technology.

#### **KEY WORDS:**

- **UMTS**
- **LTE**
- **QUALITY**
- **COVERAGE**

## **Capítulo I**

### **Descripción**

#### **Introducción**

En los últimos tiempos Ecuador se ha desarrollado en servicios e infraestructura de telecomunicaciones de manera que los habitantes pueden comunicarse en tiempo real sin importar donde se encuentre ubicado. Por lo que es evidente que los ciudadanos tienen acceso a las redes de nueva generación como tecnologías de 2G, 3G y 4G del Sistema Móvil Avanzado (SMA). (Ministerio de las Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, 2018)

En Ecuador el acceso a la tecnología 4G ha incrementado día tras día brindando a los usuarios mayor capacidad y velocidad en cuanto a servicios que brindan las operadoras móviles. La tecnología 4G ha permitido que los usuarios puedan acceder a información, contenidos y comunicarse en tiempo real. La tecnología 4G se ha relacionado con la tecnología 3G proporcionando asegurar que se establezca las llamadas de voz para mantener a los usuarios conectados. (Ministerio de Telecomunicaciones y de la sociedad de la información, 2015)

La presente tesis se centra en el diseño de una estación base para su integración en una red celular con tecnología 3G y 4G en un sitio referencial la cual se llevará a cabo teniendo en cuenta características técnicas para el diseño con la finalidad de brindar a los usuarios servicio de calidad y cobertura que permitan cubrir todas las áreas dentro del sitio.

#### **Justificación e Importancia**

Ecuador ha mejorado el servicio de telecomunicaciones y es importante que se logre cubrir áreas donde la población no ha tenido acceso a la comunicación telefónica o donde se presenta fallas en servicios de voz y datos debido a antiguas infraestructuras instaladas, ya que cada día la tecnología nos sorprende con nuevos avances, es por este motivo que el diseño de nuevas estaciones base dentro de una red celular tiene como finalidad proveer a los usuarios con buena calidad y cobertura tanto para tecnologías de UMTS y LTE.

Hoy en día todo ciudadano hace uso de dispositivos tecnológicos y en varios casos se ha presentado problemas ya que al usar estos, no existe una cobertura aceptable en eventos donde existe gran cantidad de personas debido a las limitaciones de las antenas existentes.



En eventos masivos gran cantidad de aficionados desea asistir a encuentros deportivos provocando aglomeración, es por este motivo que el escenario para efectuar este proyecto será un estadio deportivo donde se podrá visualizar con simulaciones la mejor opción para proveer con buenos parámetros de calidad y cobertura dentro de este.

La propuesta de diseñar una estación base tiene como finalidad cubrir todas las localidades con una aceptable Calidad de Servicio y así proveer cobertura mediante una red UMTS y LTE dando solución al área que presenta problemas. Finalmente, debido a que el proyecto a desarrollar implica procedimientos y metodologías para el diseño de radio bases en una red celular justifica ser realizado por un estudiante de graduación.

### **Alcance del Proyecto**

El presente proyecto se basa en el diseño e implementación de una estación base con tecnología UMTS / LTE. Es por este motivo que se realiza un estudio bibliográfico en relación a . Sirve para medir la calidad de las llamadas en redes 3G. los equipos de transmisión y modelos de antenas. En el estadio se realizará el walk test y SSV a por medio de un simulador que permita evaluar las características y parámetros de RF una vez desarrollado la simulación del diseño de la estación base.

El diseño de la simulación se desarrolla en el software en SketchUp y Autocad que permita adaptar las antenas adecuadas para las dos tecnologías especificadas. El equipo se lo seleccionara de acuerdo a las especificaciones de diseño aprobado. Para finalmente analizar la Calidad de Servicio y evidenciar la mejora de los parámetros de calidad en el sitio garantizando un buen servicio de cobertura.

### **Objetivos**

#### ***Objetivo General***

Diseñar una estación base para su integración en una red celular con tecnología UMTS y LTE en una estación referencial.

**Objetivos Específicos**

- Realizar un estudio de las tecnologías UMTS y LTE, características, parámetros de radiofrecuencia y diseño de la radio base.
- Realizar la validación de radiofrecuencia en el punto designado de la estación base en el sitio referencial.
- Proponer y simular un tipo de antena adecuado que cumpla con los parámetros de RF que logre cubrir el área.
- Realizar la simulación de walk test para verificar la Calidad y Cobertura de la red una vez realizado el diseño en la estación referencial.
- Analizar las condiciones de diseño tanto para UMTS y LTE en la estación referencial.

**Resumen de Contenidos**

El actual proyecto consta de 5 capítulos organizados de la siguiente manera.

El primer capítulo describe el desarrollo del proyecto, citando la importancia para la ejecución, objetivos, alcance y justificación del proyecto.

El segundo capítulo realiza el estudio bibliográfico de fundamentos teóricos para las tecnologías UMTS y LTE, así como características de diseño, parámetros de calidad y cobertura.

El tercer capítulo trata del diseño y simulación de la estación base tomando en cuenta Las especificaciones necesarias para cada tecnología.

El cuarto capítulo presenta el los resultados obtenidos mediante la simulación y así analizar los parámetros de calidad de servicio obtenidos con el diseño de la estación base referencial.

El quinto capítulo se realiza las conclusiones, recomendaciones respecto al desarrollo del trabajo.

## Capítulo II

### Marco Teórico

#### Sistema UMTS

UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) Sistema de tercera generación desarrollada por el organismo ETSI (European Telecommunications Standards Institute) dentro del marco de trabajo de IMT-2000. La implementación de la tecnología 3G se desarrolló en el 2002 optimizado para proveer servicios de telefonía mensajería internet y dato de alta de alta velocidad de manera que se obtenga un mejor servicio con la red móvil de Segunda Generación.

#### *Características*

Entre las características más destacadas del sistema UMTS se tiene las siguientes:

- Proveer una gran variedad de servicios y aplicaciones en el entorno móvil.
- Velocidad de transmisión de hasta 2Mbps, asignable por demanda.
- Que la calidad de servicios negociables se igual o mejor que as redes de Segunda Generación.
- Retrocompatibilidad con GSM para que el funcionamiento sea coordinado en GSM/UMTS, con terminales duales e itinerancia entre las redes.
- Que los usuarios presenten unificación en los servicios.

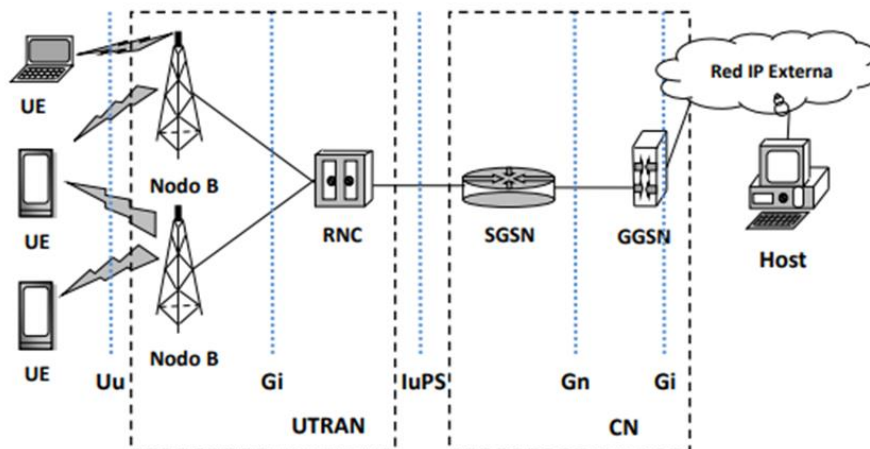
(Rábanos, Tomás, & Salís, 2015)

#### *Arquitectura UMTS*

La arquitectura UMTS 3G brinda mayor nivel de rendimiento respecto a redes GSM. Está conformada por la red de telecomunicaciones y de gestión. Está compuesta por tres partes fundamentales: los equipos de usuario (UE), la red de acceso (UTRAN) y el núcleo de red (CN).

**Figura 1**

Arquitectura de UMTS



Nota. Tomado de (Vílchez & García, 2014).

**Equipo terminal de usuario (UE).** Es el dispositivo que permite que la comunicación entre el nodo B y el usuario cuando estén en una zona de cobertura. El equipo de usuario se divide en:

- Identidad Internacional de Abonado a un móvil (IMSI)
- Identidad temporal de abonado móvil (TMSI)
- Identidad internacional del abonado móvil (IMEI)

**Red de acceso de radio terrestre (UTRAN).** está compuesta por varias (Control de la Red de Radio) RNC y de varios Nodos B, permite la conexión entre los equipos de usuarios y la Red Central.

**RNC.** Se encarga de controlar la información que es transmitida por el nodo B.

**Nodos B.** es el encargado de ofrecer servicio a una o varias celdas dentro de la zona de cobertura.

Para los elementos de la UTRAN existen varias interfaces que se definen de la siguiente manera:

**Iu.** Es la interfaz que conecta a la UTRAN con la red central

**Iub.** Es la interfaz que conecta el Nodo B con el RNC

**Iur.** Es la interfaz que permite que se conecten varios RNC dentro de la UTRAN.

**Red central (CN).** Es el encargado de procesar información ya sea servicios de voz o de datos a través de la incorporación de los elementos de conmutación de circuitos y paquetes.

**Nodo de soporte de servicio GPRS (SGSN).** Se encarga de proveer el acceso a la red de datos móviles. *Este se encarga de mantener actualizada la posición de la antena dentro de su área.*

**Nodo de Soporte de Puerta de Enlace (GGSN).** Es el punto de conexión entre la estación móvil con redes externas también controla el manejo de las direcciones IP, control de seguridad y el camino de paquetes y gestión de calidad de servicio.

Para los elementos de CN hay varias interfaces que se definen de la siguiente manera:

**Gn.** Es la interfaz que soporta la movilidad entre la SGSN y GGSN basad en IP para llevar datos a los usuarios.

**Gi.** Se encuentra solamente en GGSN y permite acceder a las redes de datos externas.

#### **Parámetros de cobertura y calidad en tecnología UMTS**

**Scrambling Code (SC).** El código de codificación es una secuencia de bits que permite identificar a una celda. En el sistema WCDMA las celdas usan la misma frecuencia debido a esto no se puede obtener ningún tipo de información con la frecuencia. El receptor correlaciona la señal recibida de forma sincronizada para recuperar la señal portadora de información general. (Guerra, 2016)

**Received Signal Code Power (RSCP).** Código de Potencia de Señal Recibida es la potencia recibida que permite determinar la capacidad de cobertura en cada celda dependiendo de la frecuencia de la portadora. RSCP se mide en dBm e indica la intensidad de la señal y se usa para calcular las perdidas en una trayectoria. En la Tabla 1. se muestra los rangos que determinan la cobertura en la red.

**Tabla 1**

*Rango de valores de RSCP*

<b>Rango RSCP</b>	<b>Nivel</b>
RSCP $\geq$ -88dBm	Bueno
-95dBm $\leq$ RSCP $\leq$ -88dBm	Aceptable
RSCP<-95dBm	Malo

*Nota. Tomado de (Osorio, 2014).*

**Chip Energy over Noise (ECIO).** La energía por chip por encima del ruido proporciona información de la interferencia y falta de señal dentro del área y se mide en dB. Es un indicador de la calidad de la señal cuando se efectúan llamadas, en la Tabla 2 se muestra el rango que determinan la calidad en la red.

**Tabla 2**

*Rango de valores de Ec/Io*

<b>Rango (ECIO)</b>	<b>Nivel</b>
$Ec/Io \geq -9\text{dB}$	Bueno
$-14\text{dB} \leq Ec/Io \leq -9\text{dB}$	Aceptable
$Ec/Io < -14\text{dB}$	Malo

*Nota. Tomado de (Osorio, 2014)*

### **Sistema LTE**

El sistema LTE (Long Term Evolution) es la tecnología móvil de cuarta generación, fue estandarizado por 3GPP que es el grupo de Proyecto Asociación de Tercera Generación. LTE permite migrar de las redes HSPA por lo que dispone de una nueva arquitectura de red que soporta el movimiento de conmutación de paquetes ofreciendo garantía en la calidad de servicio.

LTE supera a sistemas anteriores ya que soporta velocidad de al menos 100Mbps para descarga y 50 Mbps para carga permitiendo a los usuarios manejar a grandes velocidades, además de presentar en Core IP y flexibilidad para una gran variedad de anchos de banda.

### **Características**

El sistema LTE brinda altas tasa de transmisión obteniendo servicios multimedia de buena calidad a velocidades de descarga altas. En la Tabla 3. se detalla las características que presenta este sistema.

**Tabla 3***Características de LTE*

<b>Tipo</b>	<b>Características</b>
Tipo de acceso (downlink)	OFDMA
Tipo de acceso (uplink)	SC-FDMA
Ancho de banda	1.4, 3, 5, 10,15 y 20 MHz
Modulación	QPSK, 16 QAM, 64 QAM
Multiplexación	Una capa en subida
Multiplexación espacial	Hasta 4 capas para bajada

*Nota. Tomado de (Rodriguez & Escudero, 2015)*

**Arquitectura LTE**

En la arquitectura LTE hay la eliminación del nodo de control (RNC en UMTS) ya que las funciones se integran en las mismas estaciones base denominadas e-Nodo B (enveloped Node B), es decir que los eNodeB la misma zona se interconectan entre ellos a través de una interfaz. La arquitectura LTE presenta tres elementos:

**Red de Acceso (E-UTRAN).** Es la red de acceso en LTE conformada por el Nodo B que es la estación base. El eNodeB permite la conexión entre el equipo de usuario y la red de núcleo manteniendo una conectividad IP. Hacia EPC.

**Núcleo de Red (EPC).** Realiza el control de acceso a la red celular, gestión de movilidad de usuarios, interconexión con otras redes y control de servicios de usuario final. Sus nodos lógicos son:

**Entidad de gestión de movilidad (MME).** Gestiona el acceso de los terminales a través de la red U-TRAN.

**Servicio de puerta de enlace (S-GW).** Organiza el tráfico de paquetes en enlace descendente, mientras que el eNodeB organiza el tráfico de paquetes en forma ascendente. La principal función de S-GW es la asignación de la dirección IP al UE para comunicarse con redes externas de otros hosts IP.

**Policy Control and Charging Rules Function (PCRF).** Responsable de las políticas y normas de la función de carga para manejar los servicios de calidad de los mismos, proveniente de PDN-GW Y S-GW.

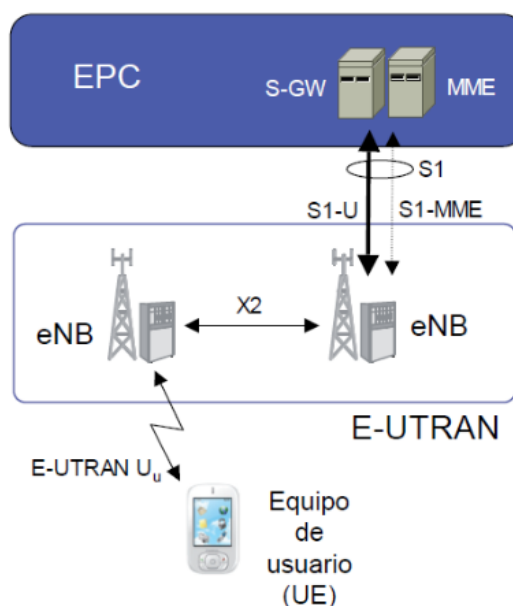
**Home Subscription Server (HSS).** Es el repositorio de datos de suscripción para los usuarios de la red. Almacena información como: ubicación del usuario que está en la red, información de servicio, seguridad y cifrado.

(Álvarez, 2014)

**Equipo de Usuario.** Permite establecer la comunicación de la red LTE a través de la interfaz de radio. El equipo de usuario es el dispositivo móvil inteligente conformado por dos entidades: módulo de identificación del suscriptor (SIM/USIM) y como tal el equipo móvil.

**Figura 2**

*Arquitectura de LTE*



*Nota. Tomado de (Jaramillo, 2017).*

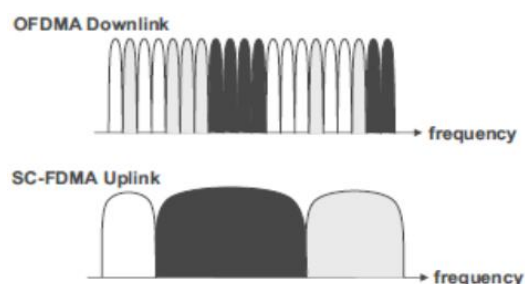
### **Técnicas de Acceso Múltiple en LTE**

El nivel físico implementado en LTE alcanza grandes niveles de capacidad y eficiencia en respecto a sistemas anteriores. En el enlace descendente se usa OFDMA y en el enlace ascendente se usa CS-OFDMA.



**Figura 3**

*Dominio de la frecuencia de las tecnologías de acceso múltiple LTE.*



*Nota. Tomado de (Rodríguez, 2013)*

**Acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal (OFDMA).** Esta modulación multiportadora se utiliza en subportadoras para transmitir información de datos y control en cierto rango de banda. OFDMA permite enviar diferentes transmisiones de datos al mismo tiempo de varios usuarios en diferentes subportadoras.

OFDMA maneja diferentes velocidades de transmisión dependiendo del requerimiento de servicio basado en asignar de más o menos subportadoras por usuario. La modulación se limita a un ancho de banda estrecho.

**Single Carrier FDMS (SD-FDMA).** Se puede generar en el dominio de tiempo como la frecuencia de dominio. En el dominio de tiempo tiene menor ancho de banda eficaz. SD-FDMA ha adoptado por el 3GPP altas velocidades de transmisión para el enlace ascendente. SD-FDMA es como la única portadora ya que cada símbolo de datos se representa con una señal que agrupa a todas las portadoras.

### ***Parámetros de cobertura y calidad en tecnología LTE***

**Physical Cell Identifier (PCI).** Identificador físico de celda utilizado para diferenciar las señales de varias celdas y debe ser único en el área de cobertura. PCI es la combinación de dos señales sincrónicas: Señales sincrónicas primarias y señales sincrónicas secundarias.

PCI se puede volver a utilizar cada 15 Km en toda la red con la finalidad de que el UE se diferencie al momento de conectarse con la red.

**Reference Signal Received Power (RSRP).** Es la medida usada para medir la cobertura del sistema LTE en cada celda, está dada en dBm. Se define como la potencia dentro del ancho de banda de un canal. Por medio del RSRP se determina la celda. (Ojeda & Alvarado, 2017)

En la tabla 4. se definen los niveles en la red LTE y cuando se encuentre en valores malos si se está realizando una llamada esta se cae.

**Tabla 4**

*Niveles de RSRP*

Rango RSRP	Nivel
$RSRP \geq -90\text{dBm}$	Bueno
$-90\text{dBm} \leq RSRP \leq -110\text{dBm}$	Aceptable
$RSRP < -110\text{dBm}$	Malo

*Nota. Tomado de (Ojeda & Alvarado, 2017)*

**Signal to Interface and Noise Ratio (SINR).** Relación Señal a Ruido más Interferencia es la potencia de medición de las señales sobre la suma de las potencias de ruido e interferencia y se mide en dB. (Ramírez, 2016)

**Tabla 5**

*Niveles de SINR*

Rango de SINR	Nivel
$SINR \geq 25\text{ dB}$	Bueno
$17 > SINR > 25\text{dB}$	Aceptable
$SINR < 17\text{ dB}$	Malo

*Nota. Tomado de (Ramírez, 2016)*

**Channel Quality Indicator (CQI).** Indicador de calidad este parámetro indica si la calidad de comunicación es aceptable. Optimiza los procesos de asignación de recursos en el enlace descendente cuando la información es enviada desde UE al EnodoB. A diferencia de otros sistemas como HSDPA, el índice LTE CQI no está directamente asociado con la relación señal/

ruido medida. CQI indica valores aceptables entre 0 y 15, cuando el índice 0 indica que el UE no ha recibido ninguna señal LTE utilizable y que el canal no funciona.

(Rohde & Schwarz, 2018)

### **Características de diseño.**

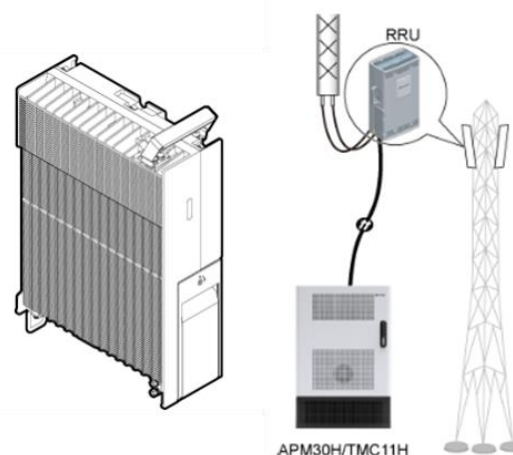
#### ***Unidad de radio Remota RRU.***

Conforma la parte de radiofrecuencia, procesa las señales de radiofrecuencia de enlace ascendente recibida desde la antena mediante conversión descendente, conversión analógica a digital, amplificación para luego ser transmitidas a la BBU.

Las RRU pueden ser instaladas en la pared, en un soporte o en el poste. Y se conecta a través de fibra óptica, por lo general se debe instalar cerca de las antenas para mejorar la cobertura del sistema, reducir la pérdida de alimentación y acotar la longitud de alimentación.

#### **Figura 4**

*Modelo de RRU e instalación de RRU.*



*Nota. Tomado de (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.)*

#### ***Unidad de procesamiento de banda base BBU***

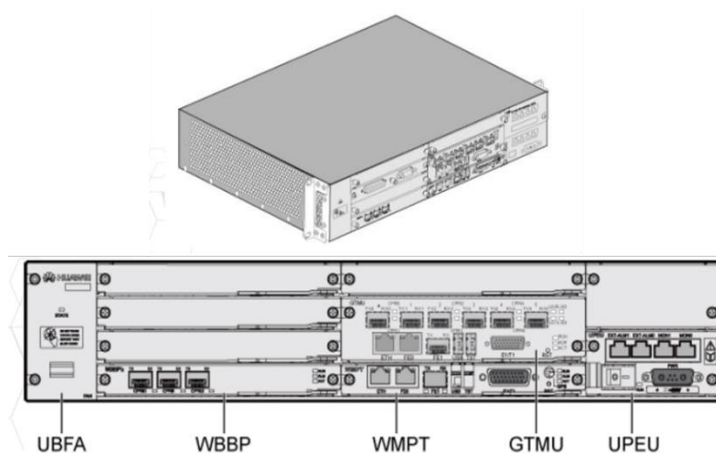
Es la unidad central de la estación base se encuentran los puertos, se encarga del procesamiento y la comunicación de la banda base.

Proporciona puertos físicos para la conexión de la interfaz con el nodo, un canal al mantenimiento local, puertos de reloj para la sincronización, monitoreo de alarma y un puerto

serial USB que está garantizado con el cifrado. BBU gestiona la estación base por medio de operación y mantenimiento (OM).

### Figura 5

*BBU 3900 y Configuración de BBU*



*Nota. Tomado de (Huawei Technologies Co., Ltd.)*

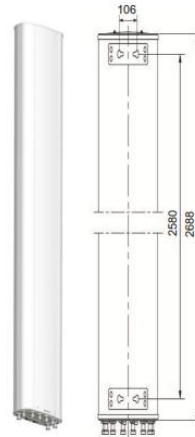
### **Antenas**

Se encargan de modular y demodular las señales que se envía dependiendo del tipo de antena. Su función es emitir la señal de ruido transmitida hacia el equipo de usuario, dependiendo del tipo de antena que se utilice se puede aumentar el área de cobertura cuando haya transmisión.

Las antenas físicamente son las celdas teniendo en cuenta la ganancia, ancho horizontal y vertical, longitud, ubicación y el tipo de tecnología.

**Figura 6**

*Modelo de antena Huawei AQU4518R9*



*Nota. Tomado de (Huawei Technologies Co., Ltd. )*

### **Azimuth**

Es el ángulo horizontal que hay que girar la antena a partir del norte geográfico terrestre en sentido horario.

**Figura 7**

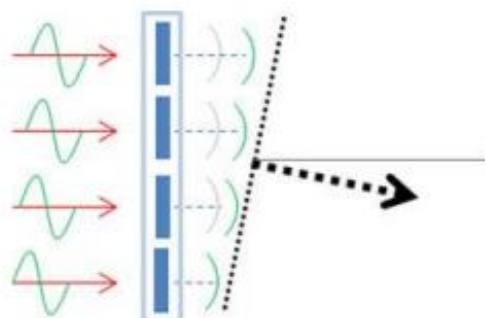
*Azimuth de la antena*



*Nota. Tomado de (Iñiguez & Marquez, 2016)*

### **Tilt eléctrico**

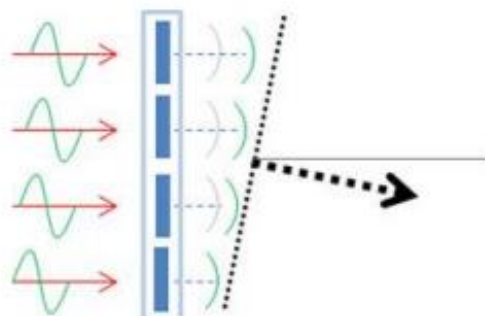
Es la inclinación física de la antena hace que el patrón de radiación mantenga la forma cuando se aumente o disminuya la cobertura.

**Figura 8***Tilt eléctrico*

*Nota. Tomado de (Iñiguez & Marquez, 2016)*

**Tilt mecánico**

Es la inclinación física de la antena deforma el patrón al aumentar la intensidad de los lóbulos cuando se incrementa el tilt. Se tiene el tilt positivo que se direcciona hacia abajo del eje (downtilt) y el tilt negativo que se direcciona hacia arriba del eje (uptilt).

**Figura 9***Tilt mecánico*

*Nota. Tomado de (Iñiguez & Marquez, 2016)*

**Modelos de propagación**

**Okumura Hata.** Trabaja a frecuencias desde 150 a 1500MHz y distancias entre 1 y 20km y es usado en zonas urbanas. (Pertínez, 2015)

La fórmula para determinar las pérdidas del modelo de propagación es:

$$L(db) = 69.55 + 26.16 \log f_c - 13.82 \log h_{te} - a(h_{re}) + (44.9 - 6.55 \log h_{te}) \log d$$

Donde:

$f_c$ : frecuencia portadora [MHz]

$h_t$ : altura de la antena transmisora

$h_R$ : altura efectiva del receptor

$a_{hr}$ : factor de corrección para la altura efectiva de la antena móvil.

d: distancia entre transmisor y receptor

$$a(h_m) = (1.1 \log f - 0,7)h_m - (1.56 \log f - 0.8)$$

**Modelo Cost -Hata.** Este modelo trabaja con altas frecuencias y su rango está definido entre 1500 y 2000 MHz. En predicciones el modelo trabaja a frecuencias de 2,5 MHz. (Pertínez, 2015)

Para calcular la pérdida de propagación se usa la siguiente fórmula:

$$L(db) = 46.3 + 33.9 \log f_c - 13.82 \log h_{te} - a(h_{re}) + (44.9 - 6.55 \log h_{te}) \log d$$

Donde:

$f_c$ : frecuencia portadora [MHz]

$h_t$ : altura de la antena del transmisor

$h_R$ : altura efectiva de la antena del receptor

$a_{hr}$ : factor de corrección para la altura efectiva de la antena móvil.

d: distancia entre transmisor y receptor

$$a(h_m) = (1.1 \log f - 0,7)h_m - (1.56 \log f - 0.8)$$

## Capítulo III

### Diseño

#### Planificación

Para realizar el diseño de la estación base el sitio referencial que se va a analizar será el estadio Liga Barrial de la Magdalena ubicado en el sector sur de Quito, este actualmente no cumple con las expectativas debido a la alta demanda de usuarios, en el sitio existe deficiencia respecto a cobertura y calidad.

Hay que considerar varios aspectos que son sumamente importantes para el diseño como son estructura, transmisión, propagación, equipos de comunicaciones, cobertura, mediciones eléctricas.

El objetivo principal de este proyecto es diseñar una estación con tecnología UMTS y LTE con la primera portadora. En la tabla 6 se describe a que frecuencia se trabaja.

**Tabla 6**

*Descripción de Tecnología*

<b>Tecnología</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Portadora</b>
LTE	2100	2250
UMTS	850	4387

#### Zona de búsqueda

Para empezar con el desarrollo del proyecto se realiza el análisis de información en el sitio referencial con la ayuda del simulador Google Earth. La zona de búsqueda consiste en buscar posibles candidatos donde se pueda ubicar la estación base y de esta manera localizar un lugar adecuado y en base a características de radiofrecuencia e infraestructura sea el indicado para poder localizar el punto nominal final.

#### ***Mapa de ubicación de la zona de estudio.***

La zona de estudio se desarrolla en un espacio público donde hay aglomeración de usuarios, este ubicado en el sector de la Magdalena al sur de Quito, se lo nombra estación



LIGAMAGDALENA\_UMTS para la tecnología UMTS Y LIGAMAGDALENA\_LTE para la tecnología LTE que es el candidato 2 y en la Tabla 7 se describe las coordenadas de los candidatos.

**Tabla 7**

*Candidatos de la estación base*

	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>
Candidato 1	0°14'3.48"S	78°31'45.64"W
Candidato 2	0°14' 1.42" S	78°31' 49.61"W
Candidato 3	0°14'5.83"S	78°31'50.51"W

En la Figura 10 se indica el área a cubrir de cobertura y la ubicación donde se va a crear la estación base teniendo en cuenta la infraestructura y técnicas de radiofrecuencia.

**Figura 10**

*Ubicación del sitio referencial.*



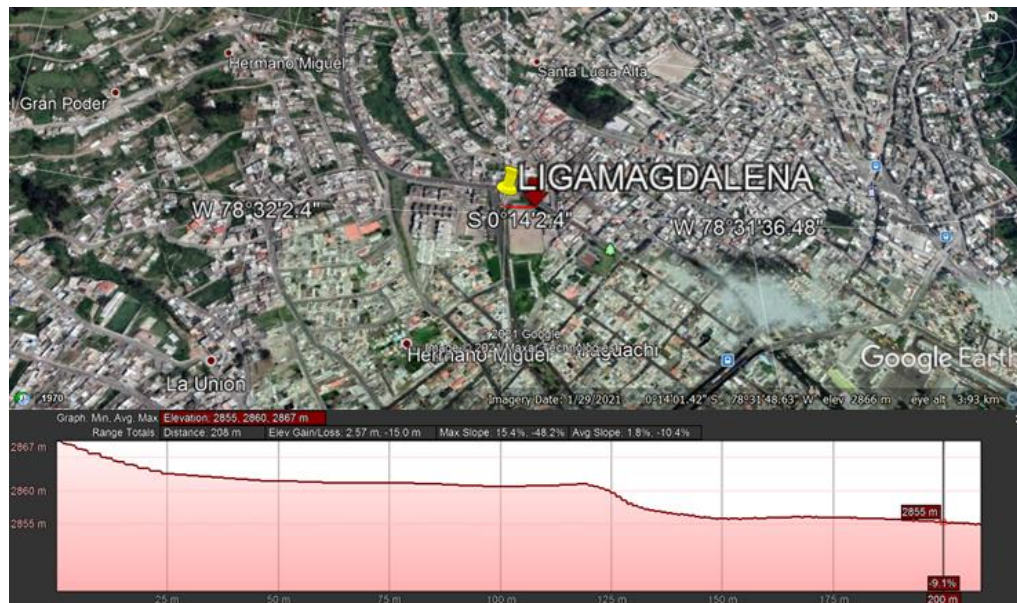
### ***Perfil de elevación.***

El perfil de elevación del sitio define la inclinación eléctrica y mecánica, considerando la altura a la que se ubican las antenas desde el piso. El perfil de elevación en el estadio apunta sobre las tribunas que es donde va a existir usuarios y donde se quiere mejorar la cobertura.

En la Figura 11 se muestra el perfil de elevación que permite dar acceso a las tribunas de la cancha principal 1.

**Figura 11**

*Perfil de elevación del terreno en 90°*



En la Figura 12 se muestra el perfil de elevación que permite dar cobertura a la tribuna existente en la cancha 2 ubicadas en la parte baja de la Liga Barrial de la Magdalena.

**Figura 12**

*Perfil de elevación del terreno en 170°.*



### **Validación de radiofrecuencia**

La Validación permite definir el sitio a partir del perfil geográfico, estructura, azimuth y altura a la que se colocan las antenas de acuerdo a parámetros para la tecnología a implementar. El objetivo del sitio es generar cobertura LTE AWS y UMTS 850 en la zona del estadio Liga Barrial Magdalena.

Primero se debe realizar una visita al sitio para analizar el terreno y se procede a la toma de datos para empezar a diseñar la radio base.

### **Fotos panorámicas.**

Son tomadas a partir del punto nominal a 11m desde la cancha 1 y girando 30°, en el desarrollo de este proyecto se realiza desde 0° a 180° ya que es el área a cubrir de cobertura.

De acuerdo a las fotos tomadas se recomienda usar mástiles de 3m de altura en la terraza ubicada dentro de la cancha.

**Figura 13***Fotos panorámicas del sitio.****Objetivo de cobertura***

Respecto al área a cubrir dentro del estadio se sugiere instalar dos antenas con los azimuth mostrados en la Figura 14, el primer azimuth de 90° que apunta hacia la tribuna de la cancha 1 y la siguiente antena tendría un azimuth de 170° que apunta hacia la tribuna de la cancha 2 a partir del Norte en sentido horario.

**Figura 14**

*Azimuth de antenas 90° y 170°.*

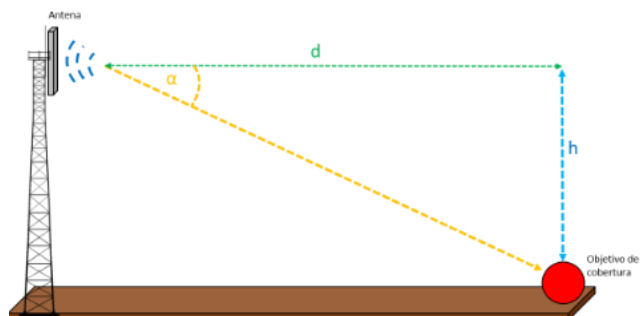


### **Configuración de radiofrecuencia**

La configuración de las antenas se evalúa una vez analizado en sitio referencial teniendo claro el área a cubrir de cobertura. Como este proyecto se implementa la tecnología LTE y UMTS se utiliza el tipo de antena AQU45R189 que son adecuadas para frecuencias de 850 y 2100 de la misma forma se debe verificar el datasheet para conocer las especificaciones de estas.

**Figura 15**

*Método gráfico para calcular el tilt mecánico*



*Nota. Tomada de (Morillo, 2017)*

El tilt mecánico se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$\tan \alpha = \frac{h}{d}$$

Donde h es la altura de la antena y d la distancia entre la antena y el objetivo de cobertura.

Tilt mecánico sector X:

$$\tan \alpha = \frac{h}{d} = \frac{14.41}{250m}$$

$$\alpha = 3.29^\circ \approx 3$$

Tilt mecánico sector Y:

$$\tan \alpha = \frac{h}{d} = \frac{17.41}{250m}$$

$$\alpha = 3.68^\circ \approx 3$$

El tilt mecánico tanto en LTE como UMTS será el mismo ya que la antena a proyectar trabaja en frecuencia de 850 y 2100 MHz se encuentra en la misma ubicación.

Tilt eléctrico es un parámetro que depende tanto del operador como zona a cubrir de cobertura, por tal motivo se va a ir modificando en el simulador y verificando el parámetro RSCP para UMTS Y LTE.

En la Tabla 8 se define el número de sectores que se va a instalar en el sitio LIGAMAGDALENA con el respectivo tipo de antena, azimuth y tilt eléctrico y mecánico.

**Tabla 8**

*Configuración de la antena*

	<b>Sector X</b>	<b>Sector Y</b>
Tipo de Estructura	Mástiles Terraza	Mástiles Terraza
Altura de Antena (desde el suelo)	5.90m	5.90 m
Orientación de la Antena (Azimuth)	90°	170°
Tipo de Antena	AQU4518R19	AQU4518R19

Tilt Eléctrico LTE	1	2
Tilt Eléctrico UMTS	2	0
Tilt Mecánico	3	3

### **Technical Site Survey (TSS)**

Se encarga de la adaptación y requisitos de equipos técnicos que se utilizan en el diseño de estaciones base con tecnologías LTE y UMTS. Una vez definido el lugar idóneo seleccionado para la adaptación de las antenas y equipos se procede con los requerimientos y análisis del terreno realizando modificaciones para una mejor adecuación del sistema a plantar dentro del sitio referencial.

### **Requerimientos de Obra Civil**

El requerimiento de la obra se basa en realizar el análisis del entorno para poder acoplar una estación base para los sistemas de LTE y UMTS por tal motivo es necesario definir el tipo de estructura y equipos que se deben figurar en la estación base.

Una vez realizado el análisis la propuesta respecto al diseño es acondicionar la terraza ubicada dentro del sitio referencial a 14.91m de altura desde el punto de referencia, a esta se acondiciona para acoplar los equipos y antenas que se van a usar. En el punto de interés los usuarios no tienen libre acceso, igualmente se colocarán alertas para restringirlo.

Como se puede observar en la Tabla 9 se describe el tipo de elemento, ubicación, tipo que se usara para el diseño de la estación base.

- **Mástil:** Se usan colocar las antenas, pararrayo y RRU's desde el piso de la terraza. Para las antenas se usan con medida de 3 m, para las RRU's de LTE 2m y para el pararrayo a 5m.
- **Soporte:** se usan soportes simples para colocar la antena en cada sector.
- **Barra de tierra** se ubica en la escalerilla y en los mástiles de las RRU's de LTE, esta garantiza que los equipos tengan menos riesgo y son puestas para diferenciar de potencial entre la masa y la tierra.
- **Escalerilla** se encuentra ubicado en el piso desde el gabinete de equipos hasta las antenas y sirve para poner proteger el cableado.

**Tabla 9***Requerimientos de obra civil.*

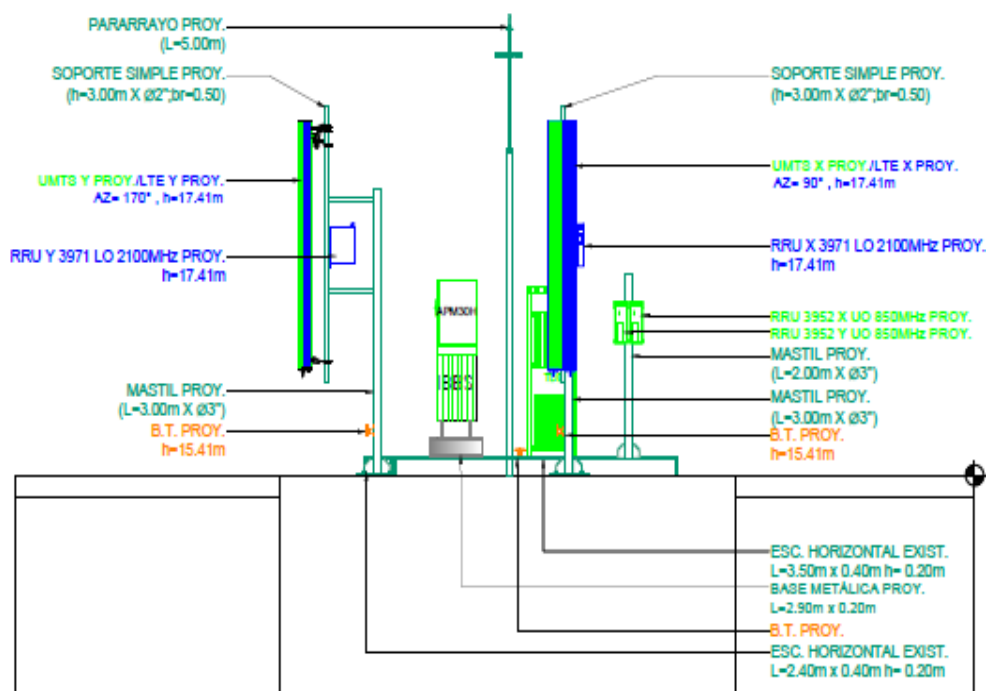
Elemento	Ubicación	Tipo	Altura (m)	Longitud (m)	Diámetro Ø (")	Comentarios
Barra de Tierra	Escalerilla	3x4 orificios				RRU's UMTS850 X, Y
Barra de Tierra	Piso	3x4 orificios	0.5m			RRU's LTE SECTOR X
Barra de Tierra	Piso	3x4 orificios	0.5m			RRU's LTE SECTOR Y
Barra de Tierra	Escalerilla	3x4 orificios				MTS 9302A +9300
Mástil	Piso			2.00	3"	RRU's UMTS850 X
Mástil	Piso			2.00	3"	RRU's UMTS850 Y
Otras Estructuras	Piso	Metálica				BASE DE EQUIPOS
Soporte	Terraza	Simple	5.90	3.00	2"	ANTENAS SECTOR X
Soporte	Terraza	Simple	5.90	3.00	2"	ANTENAS SECTOR Y
Soporte	Terraza	Simple	5.40			TDE
Soporte	Terraza	Simple	5.00			PARARRAYOS

En la Figura 16 se muestra los equipos a implementar con sus respectivas medidas. Una descripción importante en esta figura es que para diferenciar la tecnología UMTS se define color verde y para la tecnología LTE se define con el color azul.



Figura 16

Proyección en AUTOCAD de la estación base Corte A-A'



Nota. En los anexos 1,2,3,4,5,6 y 7 se puede observar el diagrama completo del diseño de la estación base.

### Levantamiento de Radiofrecuencia

El levantamiento de radiofrecuencia define las características técnicas de los equipos que se usan en el diseño de la estación base. A continuación, se detalla los equipos a usar con sus respectivas características.

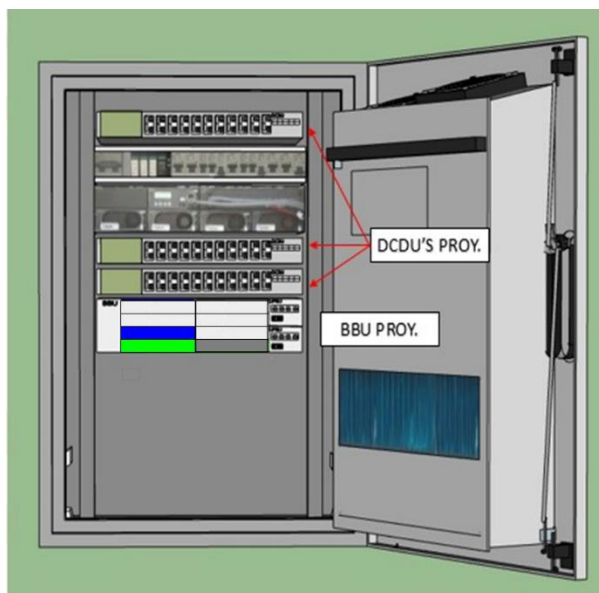
**Gabinete de equipos.** Consta de dos equipos: APM 30 y la IBBS. En el desarrollo de este proyecto se usa equipos Huawei.

**APM30H.** Se instala en el piso, posee un espacio físico para la instalación de equipos, en este equipo se instala la DCU y el DBS3900.

En la figura 17 se puede observar que en el gabinete se proyecta DCDU's que permiten distribuir energía a las RRU, BBU y todo el sistema. DCDU soporta en la entrada alimentación de -48 V\_DC y diez salidas con -48 V DC. (Huawei Technologies Co., Ltd., 2013)

**Figura 17**

*Simulación en SketchUp de Gabinete de equipos*



**Unidad de Banda Base (BBU).** Proporciona puertos para la comunicación de datos entre la RRU3900 y BSC/RNC a través de fibra óptica, los factores que se deben tomar en cuenta para instalar una BBU es el número de tarjetas a instalar y el número de sectores para UMTS y LTE.

En la figura 18 se representa la BBU a implementar y la solución se representa de la siguiente manera:

- En el slot 2 se instala una tarjeta UBBPd6 para LTE.
- En el slot 3 que se instala una tarjeta UBBPd6 para UMTS.
- En el slot 7 se instala una tarjeta UMPT que permite manejar la consola de la BBU.
- UPEU este modelo es usado para la alimentación y de monitoreo de alarmas. Funciona a -48 V CC o -24V DC a +24 V DC.
- El módulo de FAN sirve para controlar la velocidad del ventilador y detecta la temperatura de la placa del ventilador.

Figura 18

Diagrama de proyección de la BBU



**Unidad de radio remota (RRU).** Modula y demodula las señales de radiofrecuencia y las señales de banda base. Las RRU a utilizar para la tecnología UMTS es la RRU 3952 que opera a frecuencia de 850MHz y para la tecnología LTE se utiliza la RRU 3971 que opera a frecuencia de 2100 MHz. Las RRU's para UMTS se incorporan en un mástil de 2 m de altura ubicadas en la terraza, y las RRU para LTE se ubican back to back con cada antena en la terraza en un soporte de 3m de altura. En la Tabla 10 se describe el número, detalle y modelo de RRU's a utilizar para cada tecnología.

Tabla 10

Cálculo de RRU a implementar

Sector	X		Y	
	UMTS	LTE	UMTS	LTE
Número de RRU	1	1	1	1
Detalle de la RRU	UO	LO	UO	LO
Modelo de RRU's	3952	3971	3952	3971

**Banco de baterías:** Proveen de energía a la estación base cuando existe apagones, está ubicado en el interior del IBBDs2000D. El modelo de batería a utilizar es el ENERSYS POWERSAFE SBS-100F que funciona a 12V 100A. Para energizar se usa dos bancos de baterías cada uno tiene cuatro baterías conectadas en serie como se puede ver en la Figura 19.

**Figura 19***Banco de baterías*

*Nota. Tomado de (Huawei Technologies Co., Ltd., 2015)*

**Antenas.** Las antenas a implementar en el diseño son AQU4518R9, presentan las siguientes características:

**Tabla 11***Características técnicas de AQU4518R9*

<b>Propiedades Eléctricas</b>		
Polarización		+ 45 °, - 45 °
Rango de frecuencias	698-960	3 x (1710 - 2690)
Tilt eléctrico	0 – 10	0 - 10
Ancho de haz horizontal 3dB (°)	67 - 66 - 65- 62	63 - 62 - 61 - 60
Ancho de haz vertical 3dB (°)	8.8 - 8.5 - 8.0 - 7.4	7.4 - 6.8 - 6.0 - 5.5
VSWR		≤ 1.5
Toma de tierra		DC
<b>Propiedades mecánicas</b>		
Dimensiones de la antena (mm)		2688 x 349 x166
Dimensiones del embalaje (mm)		2960 x 435 x 250
Peso de las abrazaderas (kg)		33.5

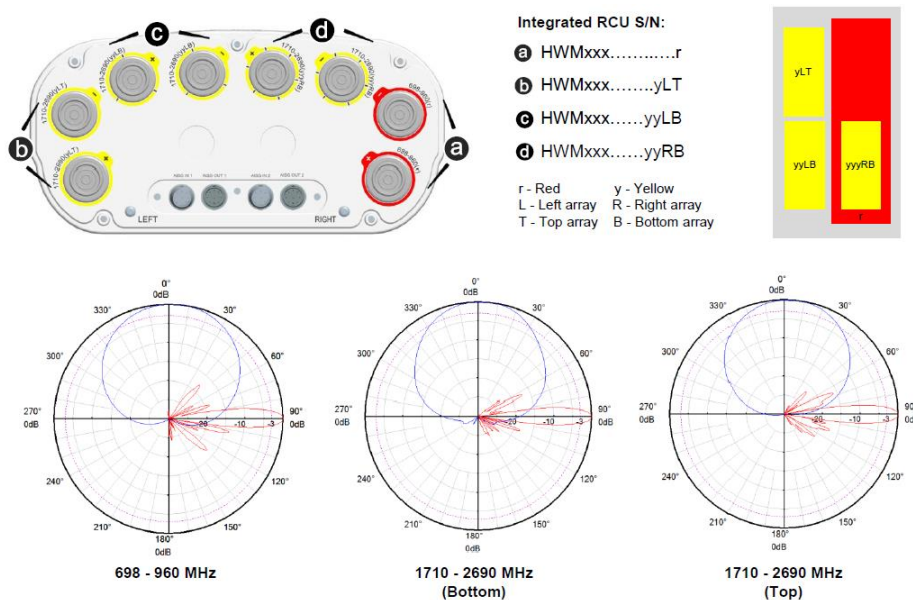
Peso de la empaquetadura (kg)	3.6
Diámetro del mástil soportado (NN)	50-116

*Nota. Tomado de (Huawei Technologies Co., Ltd. )*

Como se puede ver en la Figura 20 es una antena de banda cuádruple para la tecnología UMTS 850 MHz se usa la banda de 698 a 960 MHz mientras que para la tecnología LTE se usa la una de las bandas de 170 a 2690 MHz.

**Figura 20**

*Conexión de antena AQU4518R9*

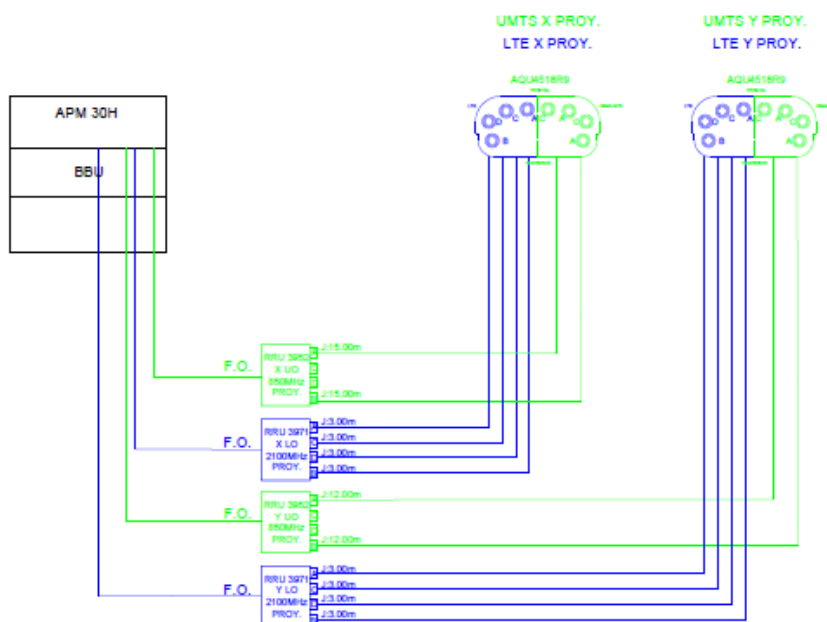


*Nota. Tomado de (Huawei Technologies Co., Ltd. )*

**Conexiones de radiofrecuencia.** La conexión del módulo APM30H con las RRU's se realiza a través de fibra óptica y debe ser energizado, luego las RRU's con las antenas se conectan con jumper's de 1/2 como se observa en la Figura 21.

**Figura 21**

*Simulación en AUTOCAD del Diagrama de conexión a proyectar*



En la tecnología UMTS para la conexión entre la RRU y la antena se utiliza jumper's de  $\frac{1}{2}$  de 10.00m, uno para transmisión y el otro para recepción.

**Tabla 12**

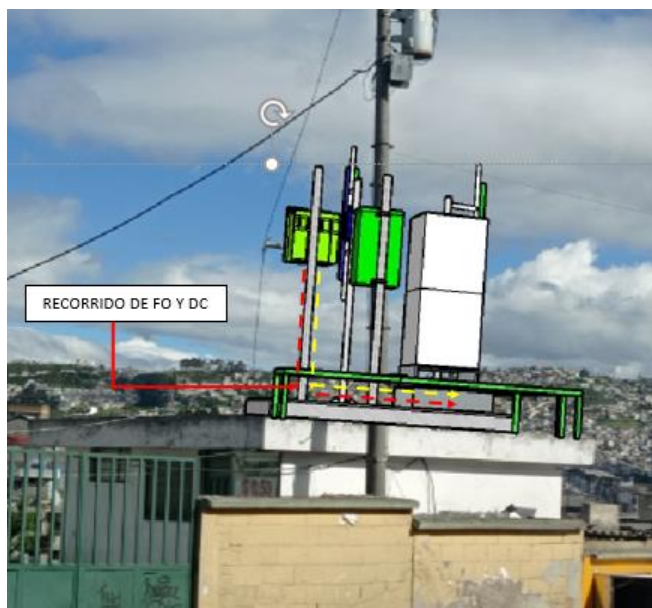
*Configuración de jumper para UMTS*

	<b>Sector X</b>	<b>Sector Y</b>
Tipo de Jumper 850MH. Proyectada	Jumper 1/2"	Jumper 1/2"
Longitud Guía de Onda 850 MHz. (m) proz ectada	10.00 x 2	10.00 x 2

En la siguiente Figura 22 se observa el recorrido que realiza la fibra óptica y la energía desde gabinete de equipos hasta las RRU's de UMTS.

**Figura 22**

*Recorrido DC y FO en UMTS.*



En la tecnología LTE para la conexión entre la RRU y la antena se utiliza jumper's de  $\frac{1}{2}$  de 3.00m debido a que la distancia es mínima. Tiene 4T4T cuya finalidad es que presenta mayor velocidad ya que comparten la misma antena que UMTS.

**Tabla 13**

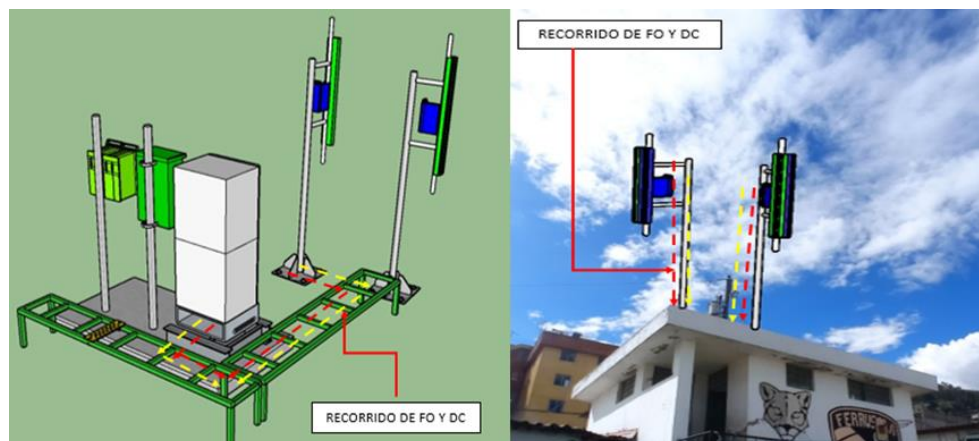
*Configuración de jumper para LTE*

	<b>Sector X</b>	<b>Sector Y</b>
Tipo de Jumper 2100 MHz. (m) proyectada	Jumper 1/2"	Jumper 1/2"
Longitud Guía de Onda 2100 MHz. (m) proyectada	3.00x4	3.00x4

En la Figura 23 se observa el recorrido que hay de fibra óptica y energía desde el gabinete de equipos hasta las RRU.

**Figura 23**

Recorrido de DC Y FO en LTE.

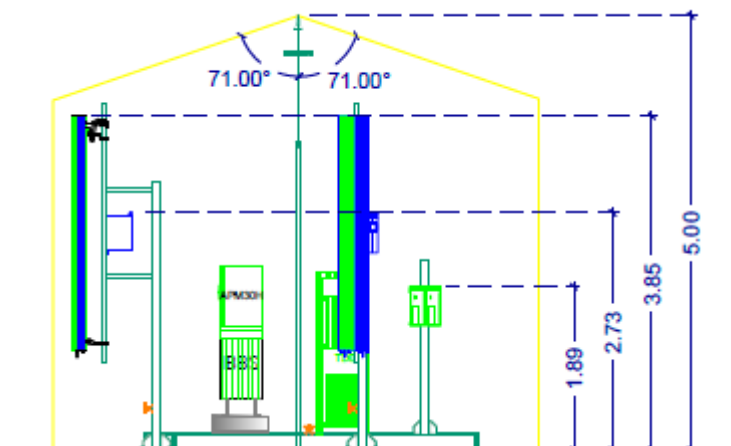


**Pararrayos.** cuando se producen en tormentas el pararrayo atrae los rayos y los conduce hacia la tierra su función es proteger a los equipos de la estación base.

En la figura 24 se puede observar que el pararrayos se encuentra en la parte central de la estación para poder proteger los equipos y que está ubicado en un soporte de 5m para logra cubrir toda el área de cobertura.

**Figura 24**

Simulación en AUTOCAD del radio máximo de protección del pararrayo





Según Benjamín Franklin la fórmula para calcular el máximo radio de cobertura de protección es la siguiente:

$$\tan \theta = \frac{R}{H}$$

$$R = \tan \theta \times H$$

$$R = \tan 71 \times 5$$

$$R = 15.4 \text{ m}^2$$

#### **Requerimientos de Energía.**

Los requerimientos de energía dependen de los equipos a implementar dentro de la estación base.

**Requerimientos DC.** El número máximo de rectificadores requerido es 4 y la capacidad del rectificador es de 3000 W.

**Consumo de cargas.** Para calcular el consumo de cargas se considera el valor total de las RRU's a instalar y la corriente a la que trabaje.

RRU 3952 funciona a 12 A

RRU 3971 funciona a 10 A

Esta se calcula:

$$\text{Consumo de carga} = (\#RRU'S \text{ UMTS} \times 12 \text{ A}) + (\#RRU'S \text{ LTE} \times 10 \text{ A})$$

$$\text{Consumo de carga} = (2 \times 12 \text{ A}) + (2 \times 10 \text{ A})$$

$$\text{Consumo de carga} = 44 \text{ A}$$

**Requerimientos en AC.** Se requiere instalar un breaker de 70A con 2 polos para energizar.

**TDE.** Es el tablero encargado de la distribución de energía, este tiene un breaker principal de dos polos de 70 A. También posee varios breakers que se distribuyen para dar iluminación a 110 V, tomacorrientes de 110 V, en la estación base dependiendo del requerimiento a implementar.

### ***Predicciones UMTS***

El Modelo de propagación ideal para tecnología UMTS en zonas urbanas es el OKUMURA HATA. Una vez definido se procede con la simulación del parámetro de calidad y cobertura en el sitio referencia.

Pasos para realizar predicciones EN ATOLL:

- Se crea un nuevo sitio ingresando las coordenadas y se muestra en el mapa.
- Seleccionamos la zona de trabajo donde se va a realizar la predicción.
- Una vez creado el sitio se modifican los parámetros de acuerdo a los equipos a usar.
- Se definen los niveles de los parámetros de calidad y cobertura,
- Se activa el sitio y se selecciona el parámetro que se desee analizar.

La Tabla 14 muestra la configuración a usar en la tecnología UMTS.

**Tabla 14**

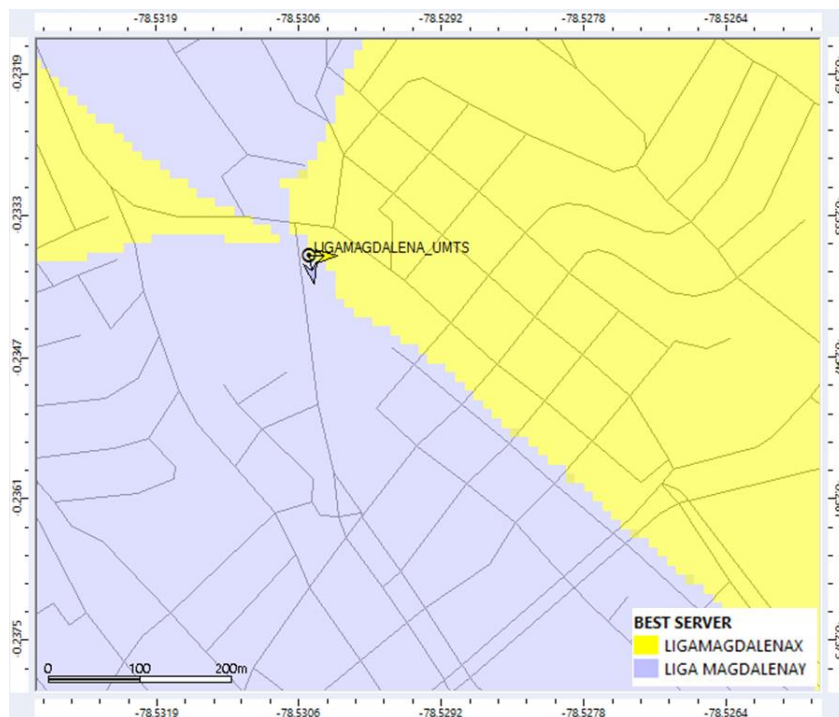
#### *Parámetros de configuración de UMTS*

Nombre del NodoB	LIGAMAGDALENA_UMTS	LIGAMAGDALENA_UMTS
Nombre de la celda	LIGAMAGDALENAX	LIGAMAGDALENAY
Antena	AQU4518R9	AQU4518R9
Azimuth	90	170
Banda de frecuencia	Banda 1(850MHz)	Banda 1(850MHz)
Altura	5.9	5.9
Tilt eléctrico	1	2
Tilt mecánico	3	3
Max Power (dBm)	43	43
Modelo de propagación	OKUMURA HATA	OKUMURA HATA

La figura 25 muestra el PCI del sector X se representa con el color amarillo, mientras que para el sector Y se pinta de color plomo. Se puede observar que cubre al área de total del estadio.

**Figura 25**

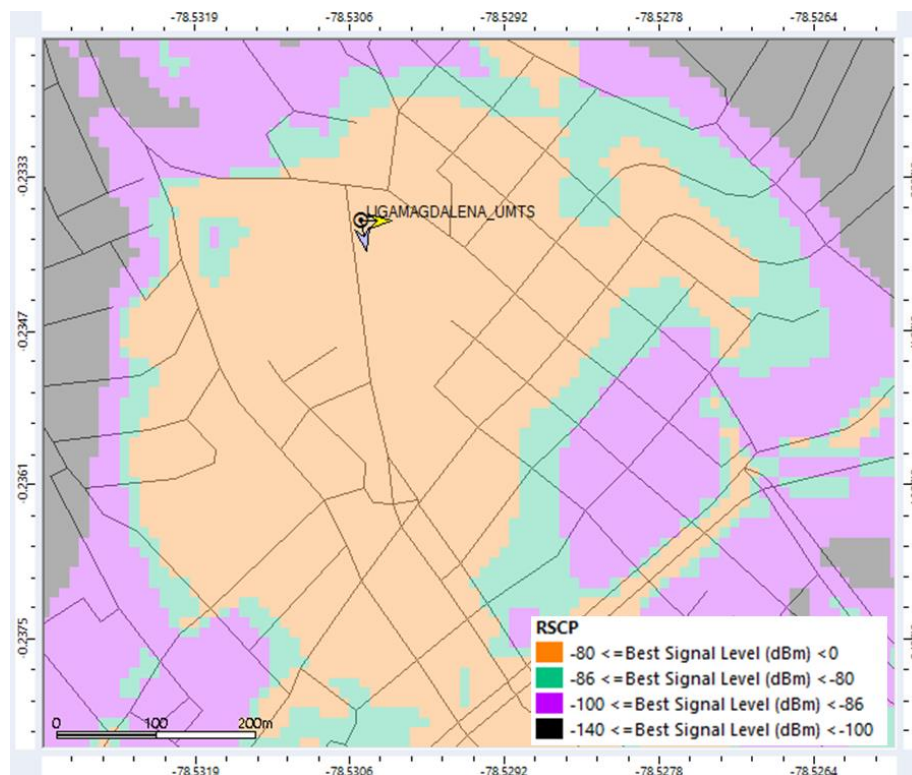
*Simulación en ATOLL del parámetro PSC.*



En la Figura 26 se muestra los niveles de cobertura RSCP para UMTS primera portadora con frecuencia 850 MHz. Los parámetros de cobertura son aceptables ya que en el área dentro del sitio referencial tienen valores menores a -80 dBm y está representado con el color tomate.

**Figura 26**

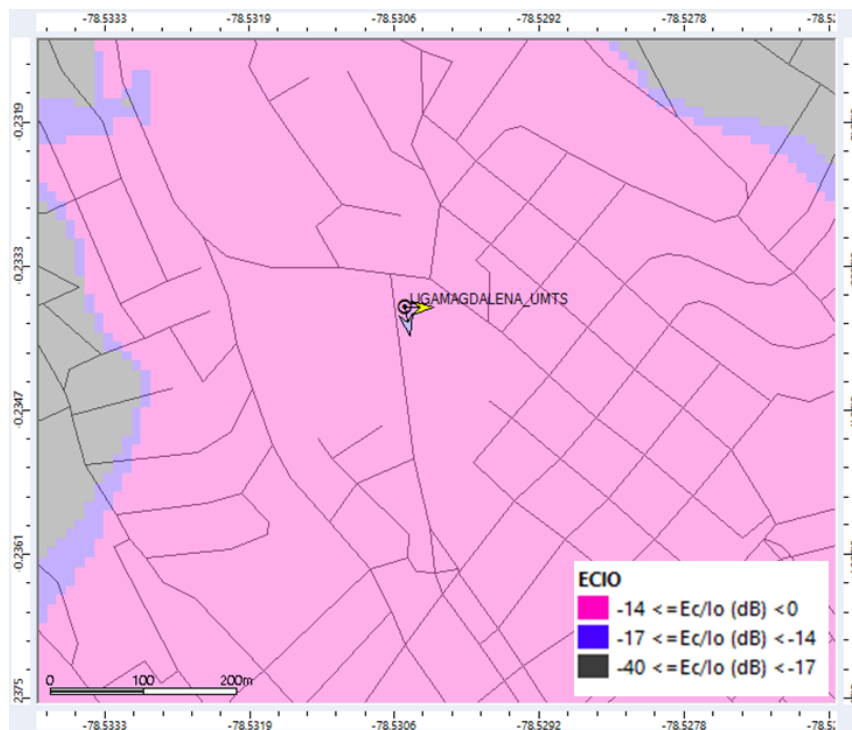
Simulación en ATOLL del parámetro RSCP



En la Figura 27 se observa que el EC/IO llega a cubrir con buenos valores toda el área de interés del estadio, estos son menores que -14 dB que son valores aceptables para este parámetro.

**Figura 27**

Simulación de ATOLL del parámetro  $EC/IO$



### Predicciones LTE

Para realizar la predicción en ATOLL se realizan los mismos pasos que UMTS, pero cambia el modelo de propagación, se usa el modelo Cost -Hata con las siguientes características:

**Tabla 15**

Configuración de parámetros en LTE

Nombre del eNodeB	LIGAMAGDALENA_UMTS	LIGAMAGDALENA_UMTS
Nombre de la celda	LIGAMAGDALENAX	LIGAMAGDALENAY
Antena	AQU4518R9	AQU4518R9
Azimuth	90	170
Banda de frecuencia	Banda 4(210MHz)	Banda 4(2100MHz)
Altura	5.9	5.9
Tilt eléctrico	1	2
Tilt mecánico	2	0

---

Modelo de propagación

COST HATA

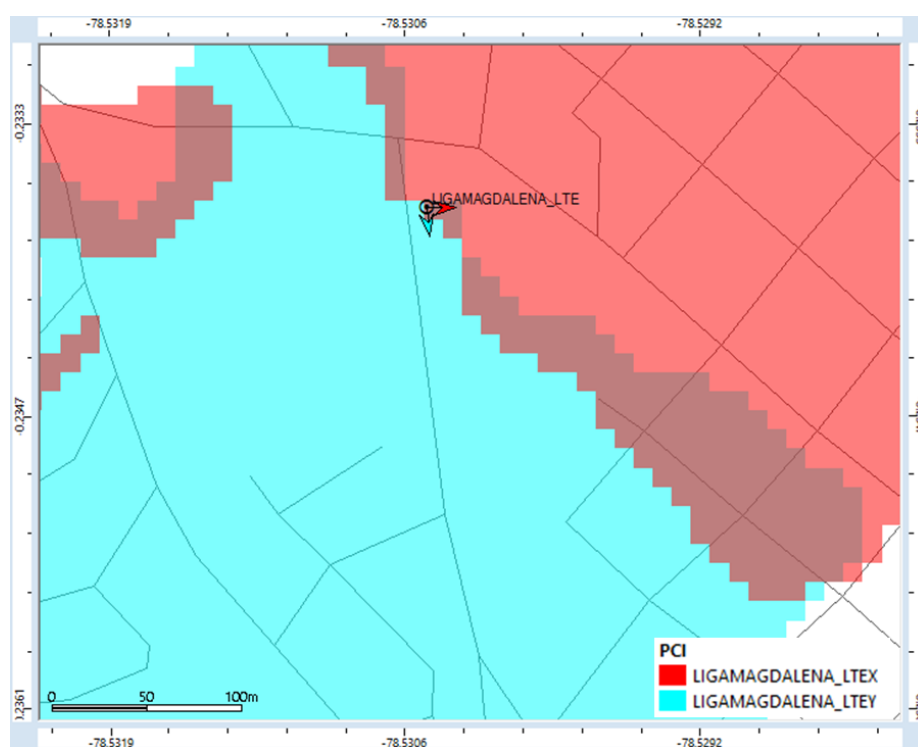
COST HATA

---

Una vez definido el modelo de propagación y establecidos los parámetros para LTE a usar se realiza la predicción del parámetro PCI que define el sector X y el sector Y, como se puede observar en la Figura 28 estos apuntan hacia el objetivo del sitio referencial. El color rojo representa el sector X con azimuth de 90°, mientras que el color celeste representa el sector Y con azimuth de 170°.

**Figura 28**

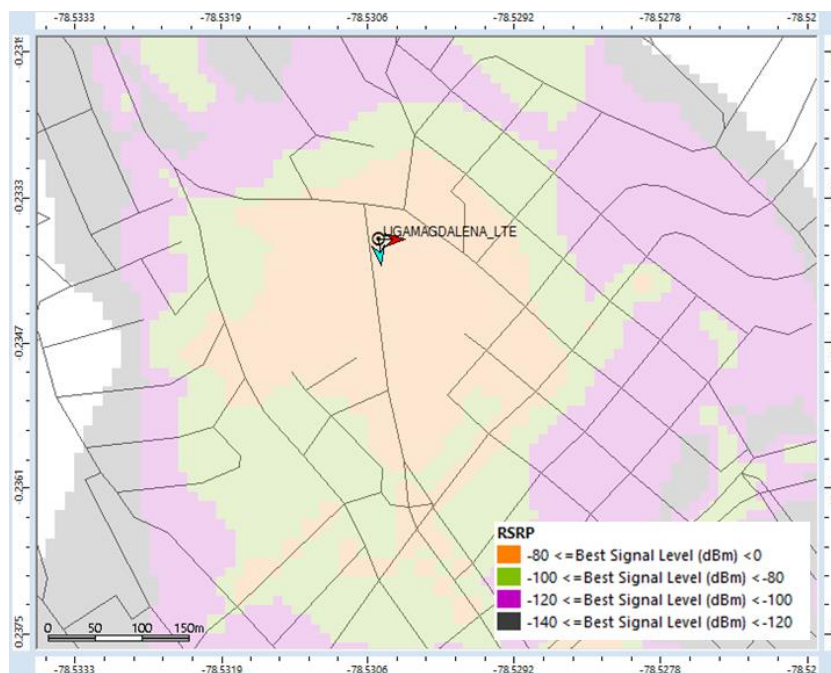
*Simulación en ATOLL de parámetro PCI*



La Figura 29 se representa el parámetro RSRP que identifica la cobertura existente en el sitio referencial, observando que el área de interés presenta valores menores a -100 dBm los cuales son aceptables dentro del rango de RSRP.

**Figura 29**

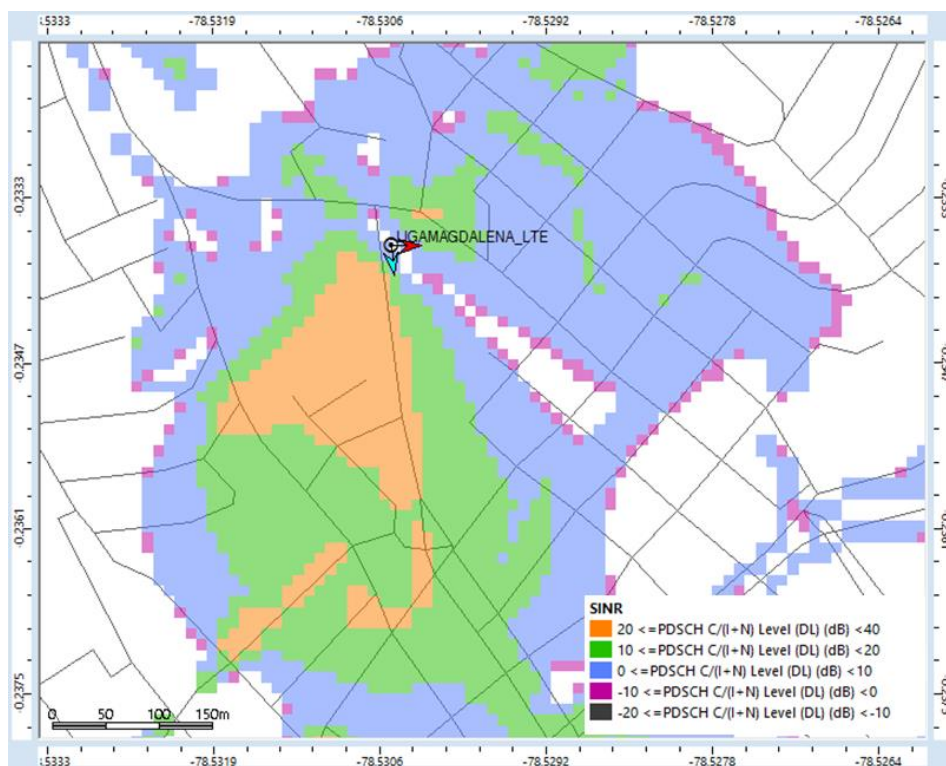
*Simulación en ATOLL del parámetro RSRP*



Finalmente, se realiza la simulación del parámetro SINR el cual permite medir la calidad de servicios de voz. Como se puede observar en la Figura 30 en el sector X tiene valores entre 0 y 10 dB y para el sector es mejor ya que esta entre valores de 10 y 20 dB

**Figura 30**

Simulación en ATOLL de parámetro SINR





## Capítulo IV

### Análisis de Resultados

#### Walk Test

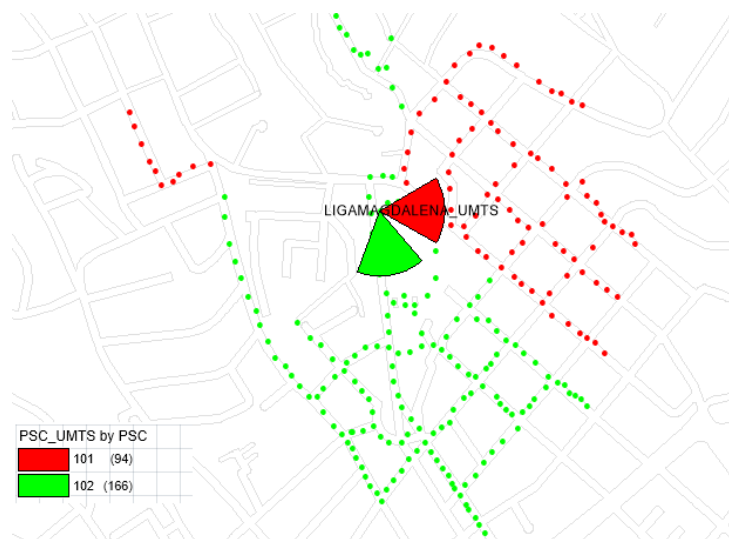
El WALK TEST se realiza con la finalidad de verificar el estado del sitio una vez elaborado el diseño de la estación base. A través del walk test durante el recorrido tanto para LTE y UMTS se analizará que la calidad de servicio de voz y datos cumpla dentro del sitio de interés.

#### *Análisis de parámetros en UMTS*

Antes de realizar las pruebas es importante haber forzado de tecnología 3G. Como se puede ver en la Figura 31 las celdas que se ubicaron tienen PSC de 101 para el sector X y PSC 102 para el sector Y, cuando se está moviendo se puede observar la radiación de la antena para cada sector.

#### Figura 31

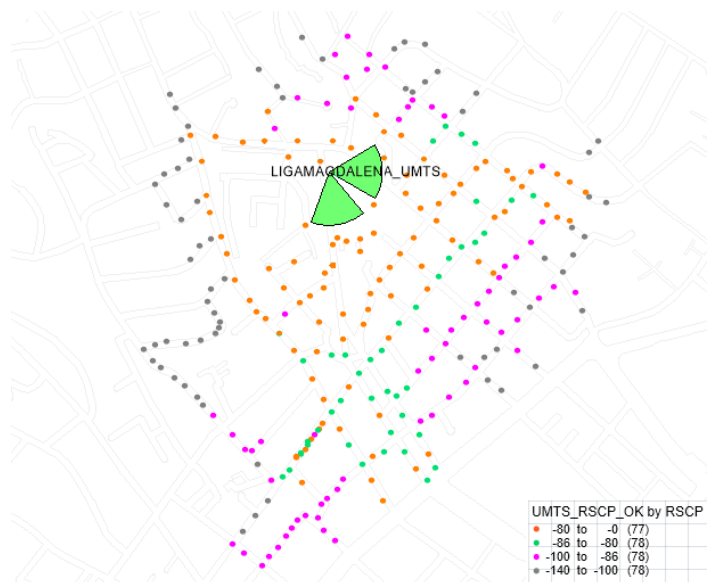
*Niveles de PSC durante del recorrido*



El parámetro RSCP presenta la cobertura existente dentro del sitio, como se puede ver en la Figura 32 existe buenos niveles en las tribunas dentro del estadio, durante el recorrido el promedio es de -78.49dBm.

**Figura 32**

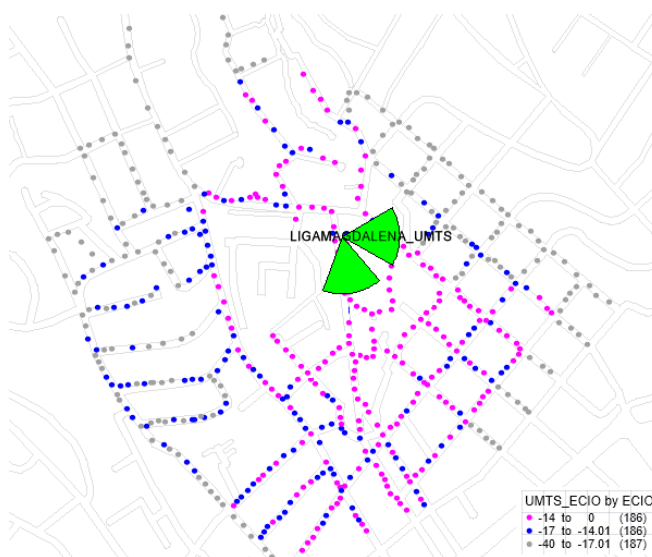
*Niveles de parámetro RSCP durante el recorrido*



El parámetro EC/IO permite verificar la calidad en llamadas, durante el recorrido realizado no se presentó eventos de llamada perdida o caída de llamada y el EC/IO tiene un promedio de -13.58 dB. Como se puede observar en la Figura 32 en las tribunas de la cancha 1 y cancha existe buenos niveles de calidad,

**Figura 33**

*Niveles de EC/IO en recorrido UMTS.*

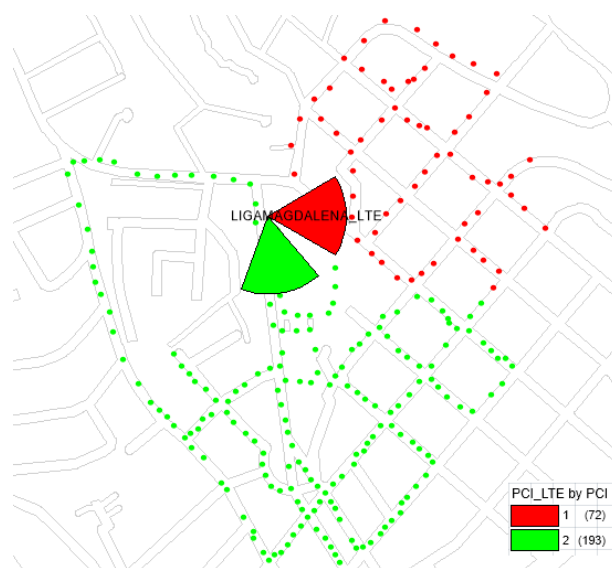


### ***Análisis de parámetros en LTE***

Igualmente, se debe forzar para que solo trabaje en Tecnología 4G para luego ser activado las celdas y proceder a realizar el recorrido como se puede ver en la Figura 33. El sector X tiene PCI 1 y el sector Y PCI 2.

#### **Figura 34**

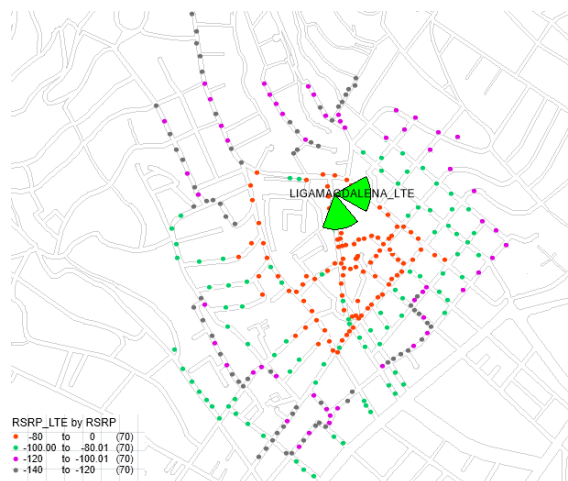
*Activación de PCI durante el recorrido.*



Los niveles de cobertura RSRP son buenos dentro del sitio, pero a diferencia de la cobertura en la tecnología UMTS este cubre menores distancias como se en la Figura 35, el promedio obtenido durante el recorrido de RSRP es -81.98 dBm.

**Figura 35**

*Niveles de RSRP del alrededor del sitio*



### Site Verification Single (SSV)

Permite verificar el estado del sitio en cada sector. Las pruebas realizadas se obtienen al grabar un archivo con dos dispositivos móviles, el dispositivo 1 realiza carga y descarga de datos y el dispositivo 2 realiza llamadas. La prueba de datos se realiza carga y descarga de archivos durante 4 minutos y la prueba de llamadas se realiza una llamada larga durante 2 minutos.

### ***Análisis de parámetros UMTS en el sector X***

Se procede a ubicarse en un punto dentro del sector X con buenos niveles para poder realizar pruebas de voz y datos. En la Tabla 16 se muestra el promedio de los parámetros obtenido durante la realización de pruebas.

**Tabla 16**

*Resultados UMTS del sector X e Y*

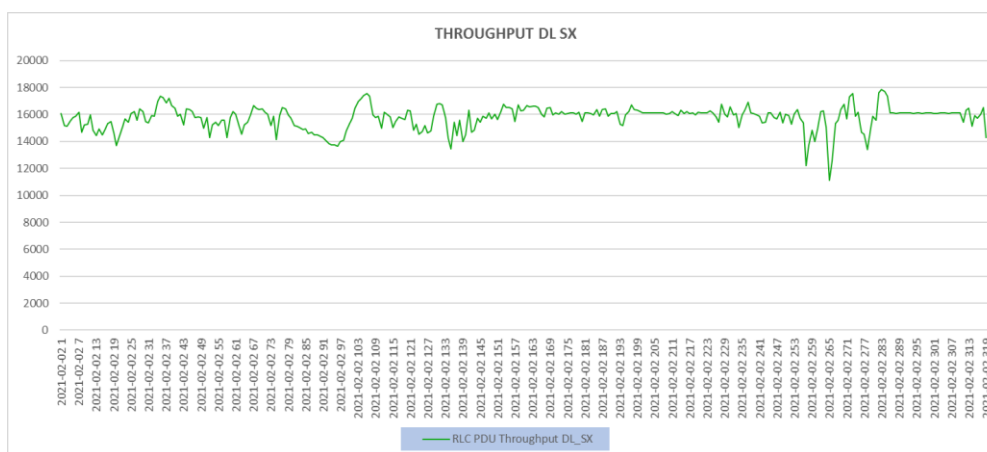
Parámetro	Sector X	Sector Y
EC/IO	-8.06	-8.60
RSCP	-69.70	-60.06

Una vez realizado la descarga en el punto estático del sector X se obtienes los siguientes valores respecto al throughput.

**Tabla 17***Resultado de throughput DL UMTS sector X*

	Valor
Numero de muestras	319
Muestras mayores al target	319
Máximo valor de Throughput	17.84 Mbps
Mínimo valor de Throughput	11.12 Mbps
Promedio de Throughput	15.75 Mbps

En la Figura 36 se observa que cuando se realizó pruebas de descarga el throughput en el sector X es estable dentro de varios rangos y su promedio cumple con el target establecido para UMTS.

**Figura 36***Promedio de Throughput DL UMTS sector X*

En la prueba de carga una vez ubicado un punto del sector X con buenos niveles se puede observar en la Tabla 18 que el throughput cumple con lo establecido en UMTS.

**Tabla 18***Resultado para Throughput UL UMTS sector X*

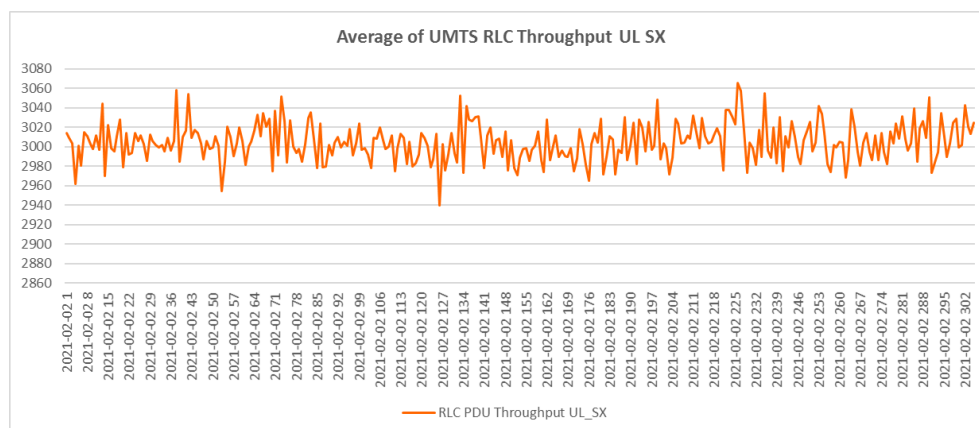
	Valor
--	-------

Numero de muestras	305
Muestras mayores al target	305
Máximo valor de Throughput	3.07 Mbps
Mínimo valor de Throughput	2.94 Mbps
Promedio de Throughput	3.00 Mbps

Como se observa en la Figura 37 al realizar pruebas de carga en el punto estático del sector X no es constante, pero tiene buenos valores superiores a 2Mbps que cumplen con los valores requeridos para UMTS.

**Figura 37**

*Promedio de Throughput UL sector X*



### **Análisis de parámetros UMTS en el sector Y**

En el sector Y de la misma manera en un punto estático con buenos niveles se procede a realizar las pruebas. En la Tabla 19 se observa que el promedio cumple con el target para UMTS y que todas las muestras cumplen con el target.

**Tabla 19**

*Resultado para Throughput DL UMTS sector Y*

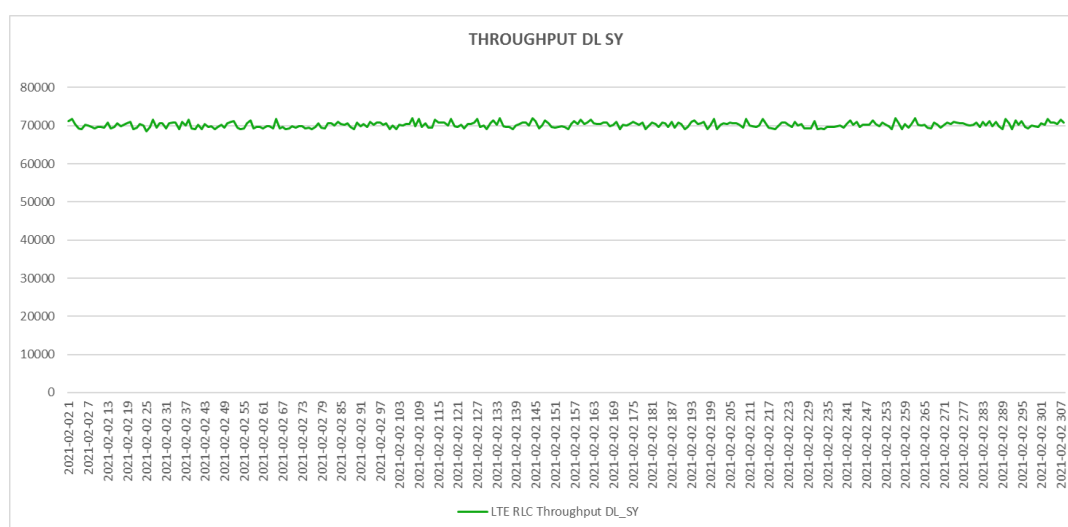
	Valor
Numero de muestras	356
Muestras mayores al target	356

Máximo valor de Throughput	14.67 Mbps
Mínimo valor de Throughput	9.82 Mbps
Promedio de Throughput	12.56 Mbps

En la Figura 38 se observa que cuando se realizó pruebas de descarga el throughput en el sector Y presenta varios picos, pero su promedio cumple con el target establecido para UMTS.

**Figura 38**

*Promedio de Throughput DL UMTS sector Y*



En la prueba de carga en un punto estático del sector Y con buenos niveles el throughput cumple con el target establecido para carga en UMTS como se puede ver en la Tabla 20.

**Tabla 20**

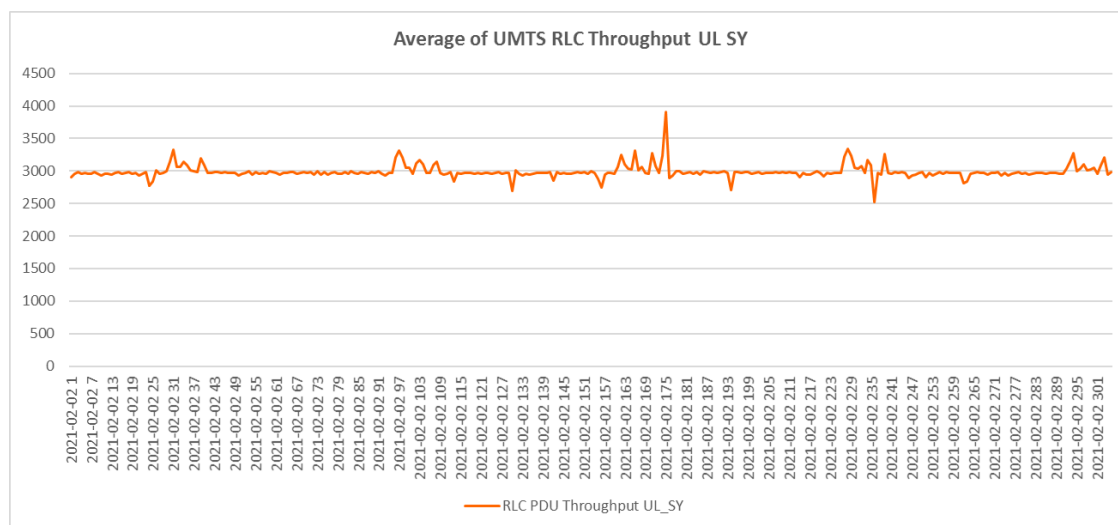
*Resultado para Throughput UL UMTS sector Y*

	Valor
Numero de muestras	305
Muestras mayores al target	305
Máximo valor de Throughput	3.91 Mbps
Mínimo valor de Throughput	2.52 Mbps
Promedio de Throughput	2.99 Mbps

Como se observa en la Figura 39 al realizar pruebas de carga en el punto estático sector X existen estabilidad cuando se están cargando archivos y se deduce throughput que cumple con el target para UMTS.

**Figura 39**

*Promedio de throughput UL UMTS sector Y*



### ***Análisis de parámetros LTE en el sector X***

Igualmente, que en UMTS es necesario ubicarse en un punto ideal del sector X con buenos niveles para poder realizar pruebas de voz y datos. En la Tabla 21 se muestra que el promedio obtenido durante la realización de pruebas cumple con el target para los sectores X e Y.

**Tabla 21**

*Resultados de parámetros LTE en los sectores X e Y*

<b>Parámetro</b>	<b>Sector X</b>	<b>Sector Y</b>
SINR	30.67	32.76
CQI	15	15
RSCP	-85.79	-72.95

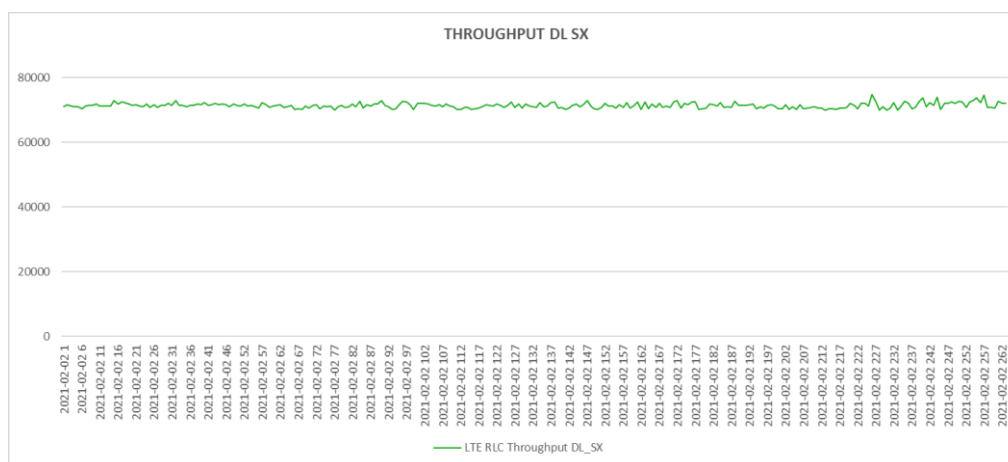
Una vez realizado la descarga en el punto estático del sector X con buenos niveles se obtiene que el total de muestras es mayor al target y el promedio es el indicado para la tecnología 4G.



**Tabla 22***Resultado de throughput DL LTE sector X*

	Valor
Numero de muestras	262
Muestras mayores al target	262
Máximo valor de Throughput	74.85 Mbps
Mínimo valor de Throughput	70.02 Mbps
Promedio de Throughput	71.42 Mbps

En la Figura 40 se observa que cuando se realizó pruebas de descarga en el sector X el throughput es estable y su promedio cumple con el target establecido con valores mayores a 60 Mbps para la tecnología LTE.

**Figura 40***Promedio de Throughput DL LTE sector X*

En la prueba de carga una vez localizado el punto del sector X con buenos niveles, al analizar el throughput se obtiene que el número de muestras mayores al target es igual a 52.12% de su total, pero con respecto al valor mínimo no hay gran diferencia con el target.

**Tabla 23***Resultado para Throughput UL LTE sector X*

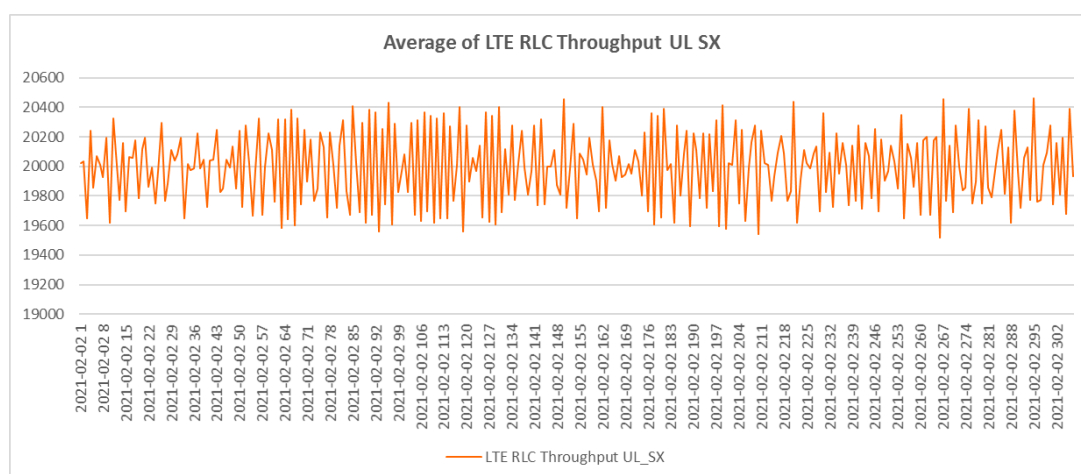
	Valor
Numero de muestras	307

Muestras mayores al target	164
Máximo valor de Throughput	20.46 Mbps
Mínimo valor de Throughput	19.52 Mbps
Promedio de Throughput	20 Mbps

Como se observa en la Figura 41 al realizar pruebas de carga en el punto estático sector X el throughput es inestable, pero cumple con el target establecido para LTE.

**Figura 41**

*Promedio de Throughput UL LTE sector X*



### ***Análisis de parámetros LTE en el sector Y***

En el sector Y igualmente busco un punto con buenos valores. Como se observa en la Tabla 24 todas las muestras son superiores al target y el throughput cumple para LTE.

**Tabla 24**

*Resultado para Throughput DL LTE sector Y*

	<b>Valor</b>
Numero de muestras	308
Muestras mayores al target	308
Máximo valor de Throughput	71.95 Mbps
Mínimo valor de Throughput	68.58 Mbps

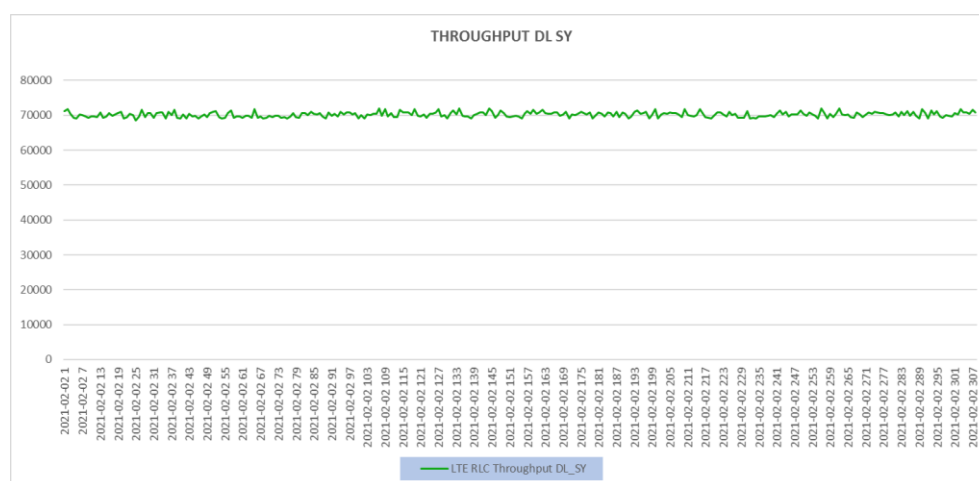
Promedio de Throughput

70.22 Mbps

En la Figura 42 se observa que cuando se realizó pruebas de descarga el throughput en el sector Y es constante y los valores son superiores al target de LTE.

**Figura 42**

*Promedio de Throughput DL LTE sector Y*



En la prueba de carga busco un punto en el sector Y que tenga buenos niveles, el throughput es de la misma manera no es constante ya que del número total de muestras tengo un porcentaje de 47.21% con valores menores al target, pero se puede observar que el valor minino es 19,54 es decir que no hay gran representación con el target por tal motivo este cumple con el target establecido para LTE.

**Tabla 25**

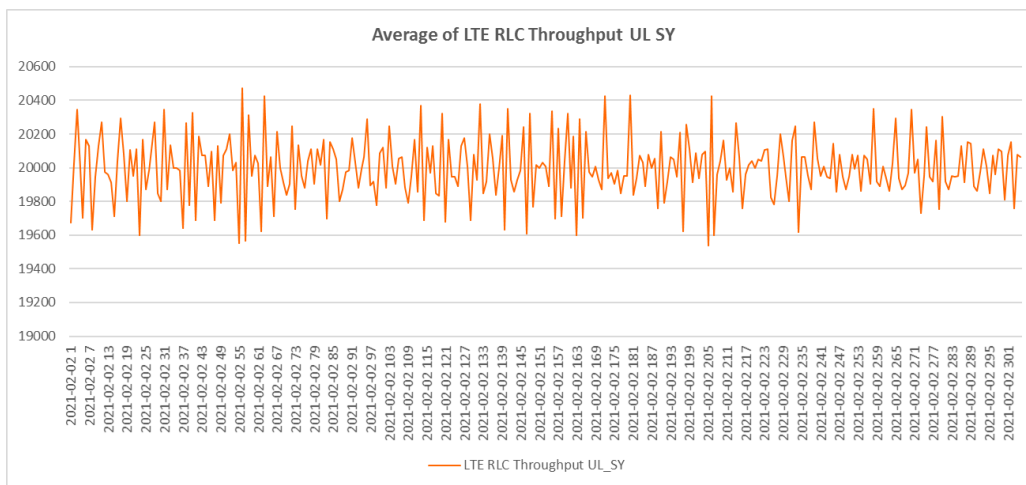
*Resultado para Throughput UL LTE sector Y*

	Valor
Numero de muestras	305
Muestras mayores al target	305
Máximo valor de Throughput	20.47Mbps
Mínimo valor de Throughput	19.54 Mbps
Promedio de Throughput	20 Mbps

Como se observa en la Figura 43 al realizar pruebas de carga en el punto estático sector X hay inestabilidad, pero el target es el indicado para LTE.

**Figura 43**

*Promedio de Throughput UL LTE sector Y*



## Capítulo V

### Conclusiones y recomendaciones

#### Conclusiones

De acuerdo a las predicciones realizadas en ATOLL en los sistemas UMTS y LTE se determina que UMTS 850 presenta buenos niveles hasta aproximadamente 1,5 Km de distancia mientras que LTE presenta buenos valores hasta unos 700 m, otro factor importante que se presento es que la cobertura en UMTS es mejor que LTE ya que a menores frecuencias existe menos pérdidas.

El levantamiento de información en el sitio referencial permitió analizar cuáles serían las características adecuadas para proveer servicios de voz y datos ya que con las medidas tomadas en campo se definió la localización del sitio, tipo de estructura, que equipos usar para la elaboración del diseño de la estación base.

Las antenas AQU4518R9 permiten trabajar en varias bandas de frecuencia, se utiliza este modelo de antena con el objetivo de implementar la tecnología UMTS y LTE por cada sector dando como resultado que la infraestructura del diseño sea óptimo.

Para realizar la transmisión de LTE de las RRU'S con las antenas se usa 4T4R para ofrecer mayor velocidad cuando haya máxima capacidad de usuarios.

Las pruebas simuladas de WALK TEST y SSV definieron que el diseño realizado en el sitio cumple con los parámetros de calidad y cobertura para UMTS y LTE. En las pruebas el parámetro de throughput de UMTS cumplió con el target superando los 6Mbps en descarga y 2Mbps en carga, para LTE cumplió con el target siendo superior a 60 Mbps en descarga y 30 Mbps en carga.

Se realizó el diseño e implementación de una estación base para su integración en una red celular con tecnología UMTS y LTE, cumpliendo con el objetivo del presente trabajo.

## **Recomendaciones**

Cuando se realiza el levantamiento de información es de gran importancia considerar todos los detalles de infraestructura del sitio tomando nota de todas las medidas del terreno, y que de esta manera se podrá simular en AUTOCAD e ir realizando cambios de acuerdo a las predicciones.

En ATOLL se debe considerar todas las características de diseño que se establecieron e ir realizando pruebas, en este simulador es importante analizar el modelo de propagación, el tilt eléctrico y mecánico y si es caso realizar modificación para que el diseño cumpla con los parámetros KPI.

Cuando se realiza el diseño de una estación base se recomienda ubicar el objetivo de cobertura para verificar cual es el azimuth de las antenas propuestas, ya que el azimuth permite cubrir con parámetros de calidad y cobertura en el sitio.

Al momento de realizar pruebas de WALK TEST como SSV es de gran importancia determinar la tecnología y portadora que se vaya a trabajar, pues se podrían observar alteraciones que no permitan cumplir con el objetivo de análisis de la tecnología solicitada.

Cuando se vaya a usar un equipo es de gran importancia verificar el datasheet porque podría existir inconvenientes o daños en estos al ser conectados debido a que el costo también es elevado.

### **Simbología**

**UMTS:** Universal Mobile Telecommunications System

**LTE:** Long Term Evolution

**ETSI:** European Telecommunications Standards Institute

**RSCP:** Received Signal Code Power

**ECIO:** Chip Energy Over Noise

**PSC:** Scrambling Code

**RSRP:** Reference Signal Received Power

**SINR:** Signal to Interference and Noise Ratio

**PCI:** Physical Cell Identifier

**CQI:** Channel Quality Indicator

**3GPP:** 3rd Generation Partnership Project

**SSV:** Single Site Verification

## Bibliografía

- Álvarez, D. (2014). *Diseño de una Red 4G (Long Term Evolution) en el Clúster 2 de la ciudad de Quito para el operador CNT EP*. Ibarra.
- Apuntamiento de antenas satélite y canales.* (s.f.). Obtenido de <https://sites.google.com/site/equiposdeimagengmfp/1-transmision-de-television/2-antenas-de-television/apuntamiento-de-antenas-satlite>
- Chamorro, R., & Guillen, J. (2020). *Estudio de tráfico y mejora de cobertura de una red celular considerando Modernización de equipos de radiofrecuencia e integración de nuevas tecnologías GSM, UMTS, LTE dentro de la población de SUCÚA*. Quito.
- Cuchala, R. (2016). *Diseño e Implementación de un Nodo\_B en Guangüiltahua - Quito para la Expansión por Demanda de la Red 3G/UMTS para la CNT E.P.* Ibarra.
- García, E. (2015). *Diseño e instalación de un nodo B adicional en una zona de alto tráfico de la ciudad de El Coca provincia de Orellana para aumentar capacidad y cobertura de la red UMTS*.
- Guerra, J. (2016). *Estudio de Campo para hacer el análisis de variables de potencia, calidad y velocidad en la zona de Fontibón del comportamiento de la red móvil LTE*. Bogotá.
- Huawei Technologies Co., Ltd. . (s.f.). *AQU4518R9* .
- Huawei Technologies Co., Ltd. (2013). *HUAWEI DBS3900 Dual-Mode Base Station Hardware Structure*.
- Huawei Technologies Co., Ltd. (2015). *Guía de Instalación y Aceptación de Sitios*.
- Huawei Technologies Co., Ltd. (s.f.). *Huawei DBS3900 Dual-Mode Base station Hardware Structure*.
- HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD. (s.f.). *RRU3971PCS Remote Radio Unit User Manual Installation Guide*.
- Iñiguez, I., & Marquez, L. (2016). *Optimización de una estación móvil LTE la interface de aire a través del análisis adquirida en el drive test*. La Paz.
- Jaramillo, M. (2017). *Implementación de Red Móvil con Tecnología 4G LTE*. Guayaquil .



- Ministerio de las Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información. (2018). *Ecuador crece cada día en acceso a telefonía móvil e Internet*. Obtenido de Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información: <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/ecuador-crece-dia-acceso-telefonía-móvil-e-internet/>
- Ministerio de Telecomunicaciones y de la sociedad de la información. (2015). *Cobertura del 4G aumenta en Ecuador*. Obtenido de Ministerio de Telecomunicaciones y de la sociedad de la información: <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/cobertura-del-4g-aumenta-en-ecuador/>
- Morillo, K. (2017). *PLAN DE MODERNIZACIÓN DE LA ESTACIÓN BASE SDOMINGO2 HACIA LA NUEVA TECNOLOGÍA LTE 4G PARA LA EMPRESA SPEED TECH TELECOMUNICACIONES CIA. LTDA*. Ibarra.
- Núñez, J. (2013). *Diseño de una red de nueva generación LTE-A para una zona urbana en Bogotá najo el estándar 3GPP y la recomendación ITU-R M.1457*. Bogotá.
- Ojeda, A., & Alvarado, L. (2017). *Análisis e Implementación de cambios físicos y de parámetros para la optimización outdoor del cluster 5 de la ciudad de Quito en la red comercial de acceso inalámbrica 4G LTE de la empresa CNT EP*. Quito.
- Osorio, L. (2014). *Análisis de los parámetros CPICH, RSCP y Ec/Io en redes 3G*. México.
- Pertínez, I. (2015). *Planificación radioeléctrica de una red de comunicaciones móviles LTE en Sevilla con Xirio Online*. Sevilla.
- Puel, D. (2017). *Diseño de una red 4G-LTE outdoor de la empresa América Perú SAC para la provincia de Sechura*.
- Rábanos, J., Tomás, L., & Salís, J. (2015). *Comunicaciones móviles* (Tercera ed.). Centro de Estudios Ramón Areces, S.A.
- Ramírez, A. (2016). *Evaluación de QoS en la transmisión de datos de alta velocidad en movilidad en una red LTE*. Guayaquil.
- Rodríguez, C. (2013). *Estudio experimental por simulación del diseño de una red LTE de telefonía y datos móviles en Nicaragua*.
- Rodríguez, C., & Escudero, J. (2015). *Diseño y Optimización Móvil en un Proyecto de Modernización de Red*. Madrid.

Rohde, & Schwarz. (2018). R&S®TS8980 test system analyzes LTE quality indicators: CQI, PMI and RI.

Vílchez, N., & García, I. (2014). *Diseño de una estación base para su integración en una red celular basadas en tecnologías GSM/ UMTS*. Nicaragua.

Zhang, X. (2018). *LTE Optimization Engineering Handbook*. Hoboken .

**Anexos**