

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL



TRABAJO DE GRADUACIÓN

CARRERA: ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

**TEMA: DISEÑO DE UNA RED LTE PARA LA PARROQUIA DE IÑAQUITO
UTILIZANDO LA HERRAMIENTA ATOLL**

AUTORA: CINTHIA KATERIN LOGROÑO LLUMIQUINGA

TUTOR: MG. WILMER ALBARRACÍN

QUITO, 2014

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL**APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Graduación certifico:

Que el trabajo de graduación **“DISEÑO DE UNA RED LTE PARA LA PARROQUIA DE IÑAQUITO UTILIZANDO LA HERRAMIENTA DE ATOLL”**, presentado por Cinthia Katerin Logroño Llumiquinga, estudiante de la Carrera de Electrónica y Telecomunicaciones, reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del tribunal de grado, que se designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Quito D. M., Septiembre de 2014

TUTOR

Mg. Wilmer Albarracín

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL**AUTORÍA DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**

El abajo firmante, en calidad de estudiante de la Carrera de Electrónica y Telecomunicaciones, declaro que los contenidos de este Trabajo de Graduación, requisito previo a la obtención del Grado de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, son absolutamente originales, auténticos y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor.

Quito D. M., Septiembre de 2014

Cinthia Katerin Logroño Llumiyinga

CC: 171349224-5

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL**APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del Tribunal de Grado, aprueban el trabajo de graduación de acuerdo con las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Tecnológica Israel para títulos de pregrado.

Quito, D.M., Septiembre de 2014

Para constancia firman:

TRIBUNAL DE GRADO

PRESIDENTE

MIEMBRO 1

MIEMBRO 2

AGRADECIMIENTO

Primero que nada agradezco a Dios por permitirme culminar una etapa de mi vida muy importante y darme la oportunidad de compartir con mi seres queridos.

A mis padres Laura y Carlos por el apoyo incondicional, cariño y esfuerzo que permitió hacer realidad la culminación de esta etapa de mi vida. A mis hermanos Verónica y Carlos por ser parte de esta aventura llena de cosas buenas y no tan buenas. A mis sobrinos Emily y Dilan que me impulsan a ser cada día mejor. Y a Néstor por su amor, confianza y por tenerme mucha paciencia y además por su ayuda y colaboración brindada en el desarrollo de este trabajo.

Un agradecimiento a todos los profesores que fueron parte de esta etapa y en especial al Ing. Wilmer Albarracín por ser mi tutor y por el tiempo entregado para la culminación del trabajo.

Un agradecimiento especial a todos mis amigos con los que he compartido gratos momentos y dificultades de la vida universitaria.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a toda mi familia por confiar en mí y en especial a mis padres Laura y Carlos porque veo en ellos un ejemplo de vida y han sido el impulso para culminar mi carrera. Los quiero mucho.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1	1
PROBLEMATIZACIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Problema Investigado	2
1.3 Problema principal	3
1.4 Problema secundario	3
1.5 Justificación	3
1.6 Objetivos	4
1.6.1 Objetivo principal.....	4
1.6.2 Objetivos específicos.....	4
1.7 Metodología	4
CAPÍTULO 2	6
MARCO TEÓRICO	6
2.1 Conceptos Básicos sobre Redes Celulares.....	6
2.1.1 Celda.....	6
2.1.2 Propagación Multitrayecto	7
2.1.3 Pérdidas en el trayecto.....	8
2.1.4 Shadowing.....	9
2.1.5 Sensibilidad de referencia	9
2.1.6 Modelo de Propagación.....	10
2.1.7 Interferencias	11
2.2 Long Term Evolution (LTE).....	12
2.2.1 Bandas de Frecuencia.....	13
2.2.2 Arquitectura básica de LTE.....	15
2.2.3 Interfaz de Radio	17
2.2.4 Esquemas de codificación y Modulación.....	21
2.2.5 Estructura de la trama.....	22
2.2.6 Señales y Canales Físicos.....	23
2.2.7 Planificar o Scheduler en eNodoB	25
2.2.8 MIMO.....	25

2.2.9 Servicios de LTE	25
CAPÍTULO 3	27
DISEÑO DE UNA RED MÓVIL LTE PARA LA PARROQUIA DE IÑAQUITO UTILIZANDO LA HERRAMIENTA DE PLANIFICACIÓN ATOLL	27
3.1 Estudio de la situación actual de la tecnología LTE en el Ecuador	27
3.2 Recopilación y procesamiento de la información de los componentes básicos y parámetros que intervienen en el diseño de la red de acceso.....	30
3.2.1 Componentes Básicos de la red LTE	30
3.2.2 Elección de la herramienta de planificación	33
3.2.3 Elección de parámetros iniciales	38
3.3 Diseño de la red de acceso para la parroquia Iñaquito utilizando la herramienta de planificación Atoll.	42
3.3.1 Configuración de la Red en la herramienta de Planificación Atoll.....	43
3.4 Validación del diseño de la red de acceso mediante predicciones realizadas en la herramienta de planificación Atoll.....	48
3.5 Análisis de Costos.....	67
3.5.1 Costos de Equipos e Instalación (CAPEX).....	68
3.5.2 Gastos de Operación – OPEX	69
CAPITULO 4	Error! Bookmark not defined.
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	Error! Bookmark not defined.
4.1 Conclusiones	Error! Bookmark not defined.
4.2 Recomendaciones	Error! Bookmark not defined.
BIBLIOGRAFÍA	Error! Bookmark not defined.
ANEXOS	Error! Bookmark not defined.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Clasificación de las Celdas de acuerdo al área	6
Figura 2: Propagación Multi trayectos	7
Figura 3: Pérdida por penetración	8
Figura 4: Pérdida por cuerpo	8
Figura 5: Pérdida por penetración	9
Figura 6: Interferencia Inter-celdas	12
Figura 7: Arquitectura General de LTE.....	15
Figura 8. Arquitectura de la E-UTRAN	16
Figura 9: Prefijo cíclico	18
Figura 10: Esquema OFDMA.....	19
Figura 11: Funciones del Transmisor OFDMA.....	19
Figura 12: Esquema SCFDM	21
Figura 13: Modulación y Calidad de Señal	22
Figura 14: Estructura de la Trama	23
Figura 15: Estructura del Resource Block.....	23
Figura 16: Distribución de usuarios en las diferentes operadoras.....	28
Figura 17: Tecnologías a nivel Nacional.....	29
Figura 18: Elementos de la Red de Acceso	32
Figura 19: Esquema del eNodeB.....	33
Figura 20: Interfaz de Usuario Atoll.....	34
Figura 21: Diagrama de Flujo de la planificación de una red LTE.....	35
Figura 22: Mapa de las parroquias urbanas del Distrito Metropolitano de Quito	40
Figura 23: Ruta y niveles de señal de las pruebas en campo.....	41
Figura 24: Configuración de la Banda de Operación en Atoll	44
Figura 25: Configuración del Modelo SPM	44
Figura 26: Distribución de las Estaciones base en la parroquia de Iñaquito	48
Figura 27: Distribución de los eNodeB dentro del polígono – Computation Zone.....	49
Figura 28: Predicción de Cobertura a nivel de señal	50
Figura 29: Histograma sobre los Niveles de señal	51
Figura 30: Zonas con bajos niveles de señal	52
Figura 31: Predicción de Cobertura por transmisor.....	53
Figura 32: Zona de Solapamiento.....	54
Figura 33: Histograma de Solapamiento	55
Figura 34: Predicción de Cobertura de potencia del canal PDSCH	56
Figura 35: Histograma de Cobertura de potencia del canal PDSCH.....	56
Figura 36: Predicción nivel C/N del canal PDSCH.....	57
Figura 37: Histograma de Cobertura de potencia del canal PDSCH.....	58
Figura 38: Comparación de Cobertura	59
Figura 39: Comparación de Cobertura a nivel de Señal	60
Figura 40: Entorno del Mapa de tráfico de la Parroquia de Iñaquito	62
Figura 41: Predicción de calidad de la señal	64

Figura 42: Histograma de la Calidad de señal	64
Figura 43: Predicción del Área de Servicio Efectiva	65
Figura 44: Predicción de throughput efectivo del canal	66
Figura 45: Porcentaje de throughput	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Valores típicos de K del modelo Standard Propagation Model</i>	11
Tabla 2: <i>Bandas de Frecuencia definidos por la 3GPP para LTE</i>	14
Tabla 3: <i>Parámetros de la red LTE – Ancho de Banda</i>	15
Tabla 4: <i>Abonados por Operador y por Tecnología</i>	28
Tabla 5: <i>Bandas de Frecuencia asignadas para Servicios Móviles Avanzados</i>	30
Tabla 6: <i>Banda 4 tecnología LTE</i>	38
Tabla 7: <i>Resultados Clutter</i>	41
Tabla 8: <i>Características técnicas de los eNB y UE</i>	43
Tabla 9: <i>Ejemplo de la Plantilla LTE</i>	45
Tabla 10: <i>Modulaciones y Códigos</i>	46
Tabla 11: <i>Parámetros de tráfico</i>	47
Tabla 12: <i>Parámetros configurados a nivel de Cobertura</i>	49
Tabla 13: <i>Estadísticas de los cambios físicos</i>	58
Tabla 14: <i>Reporte de cobertura</i>	61
Tabla 15: <i>Reporte Cobertura de calidad</i>	63
Tabla 16: <i>Resultados del Área de Servicio Efectivo</i>	65
Tabla 17: <i>CAPEX</i>	68
Tabla 18: <i>Cálculo de los terminales</i>	69
Tabla 19: <i>OPEX</i>	70

RESUMEN

El presente trabajo de graduación tiene como objetivo diseñar una red de acceso LTE para la parroquia Iñaquito utilizando la herramienta de planificación Atoll. Para esto, se analizarán los componentes y parámetros que intervienen en la tecnología LTE. El trabajo de graduación está dividido en 4 capítulos y está estructurado de la siguiente manera:

En el capítulo 1, se analiza la problemática que da inicio al presente trabajo, así como los objetivos, justificación y metodología del trabajo.

En el capítulo 2, se realiza una introducción sobre conceptos generales necesarios para la comprensión de redes móviles, así como la descripción de la tecnología LTE.

En el capítulo 3 se realiza la ingeniería del trabajo, centrándonos en la red de acceso. Donde se inicia con un estudio de la situación que mantiene el Ecuador en la actualidad con respecto a la tecnología LTE. Posteriormente se elige parámetros que intervienen en el pre-diseño y se realiza el diseño de las estaciones base en la herramienta de planificación Atoll, así como el análisis de los resultados y por último se realiza un análisis de costos que conlleva la implementación del proyecto a la operadora móvil.

En el capítulo 4 se encuentran las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo.

Y finalmente se tiene la parte correspondiente a los Anexos, donde se adjunta características técnicas de los equipos y el manual de usuario de la herramienta de planificación Atoll.

ABSTRACT

This graduation work aims to design a parish Iñaquito access LTE network using Atoll planning tool. To this end, will analyze the components and parameters involved in LTE technology. Graduation work is divided into four chapters and is structured in the following way:

Chapter 1 discusses the problem that begins this work, as well as the objectives, justification and methodology.

In Chapter 2, is an introduction to general concepts necessary for the understanding of mobile networks, as well as the description of the LTE technology.

Chapter 3 carries out engineering work, focusing on the access network. Where it begins with a study of the situation which currently maintains the Ecuador regarding LTE technology. Parameters involved in the pre-design is subsequently chosen and is the design of the stations base Atoll planning tool, as well as the analysis of the results and finally is carried out an analysis of costs associated with the implementation of the project to the mobile operator.

And finally in the chapter 4 are the conclusions and recommendations of this study.

And finally you have the share of the Annexes where technical characteristics of the equipment and the user manual planning tool Atoll is attached.

CAPÍTULO 1

PROBLEMATIZACIÓN

1.1 Antecedentes

Se dice que inicio el sistema de comunicación móvil a partir de 1947 donde se difunde el concepto de celdas por Bell Labs, permitiendo dividir el área de cobertura en pequeñas áreas cada una con su propia estacion base. Los primeros sistemas moviles fueron utilizados en fronteras nacionales y su aceptación fue limitada, debido al elevado costo del equipo y al consumo elevado de potencia que empleaba el terminal, esto fue un limitante para su despliegue. (Sesia, Toufik, & Baker, 2011, pág.1)

En el año de 1981 se crea el primer sistema de comunicación denominado “primera generacion (1G)” que utiliza una tecnología analógica y es independiente a nivel mundial, por ejemplo en los estados unidos se utilizo AMPS un sistema analógico de teléfono móvil, en algunas partes de Europa se utilizo TACS y MNT que son sistemas de comunicaciones de acceso y J-TACS en la parte de Japon y Hong Kong, todos ellos tiene en común que el equipo seguía siendo grande y la calidad de voz en ocasiones era inconsistente, este tipo de sistema no permitia la comunicación a nivel mundial, basicamente era una comunicación nacional. (Sesia, Toufik, & Baker, 2011, pág.1)

Pensando en solventar el problema de la comunicación del usuario cuando se encuentre fuera del area del operador se desarrolla el segundo sistema de comunicación denominado 2G o conocido como GSM (Global System for Mobile) que fue el primer sistema digital, diseñado para proporcionar servicios de voz, mensajes de texto y datos a menor escala. El sistema es bastante robusto, interoperable y ampliamente aceptado. Su existo se ve enfocada en la tecnologia de los terminales moviles, presentando equipos de menor tamaño con baterias con una larga vida util, teniendo una aceptación favorable en el mercado mundial. El sistema movil GSM permitio la comunicación a nivel mundial en diferentes regiones donde la comunicación fija no existia y su implementación era dificil por su costo, se da inicio al concepto de “roaming”. A mediados de los 90 el incremento de datos a nivel móvil es un indicador para mejorar el estandar GSM con la

implementación del sistema GPRS (General Packet Radio Service) que fue diseñado para transportar datos avanzados cuando el dispositivo se active a internet. Este sistema como su nombre lo dice es un sistema universal. (Sauter, 2011, pág.1)

El sistema de tercera generación (3G) conocido como UMTS (Universal Mobile Telecommunications Systems) que nace a partir de las tecnologías anteriores como GSM y GPRS, es un sistema diseñado para ofrecer servicios de voz por conmutación de circuitos y datos a mayor escala mediante conmutación de paquetes. Al pasar de los años UMTS se está acercando a una serie de limitaciones inherentes al diseño de manera similar a lo que pasó con GSM y GPRS, por lo que se busca rediseñar una vez más la red de radio y núcleo. (Sauter, 2011, pág. 115)

El último paso es la evolución de la tecnología 3G enfocado en el acceso de radio denominado Evolución a Largo Plazo (Long Term Evolution –LTE) que se caracteriza por poseer una interfaz de aire diferente a las tecnologías anteriores evitando los desvanecimientos por multi trayectos y entregando una gama de servicios y aplicaciones a velocidades de descarga de hasta 100 Mbps y de subida de 40 Mbps. (Sauter, 2011, pág. 207)

Actualmente en el Ecuador, la telefonía móvil ha crecido rápidamente en los últimos años, cada vez se suman más usuarios al servicio móvil debido a las necesidades y el ritmo de vida que llevan, este crecimiento ha permitido incursionar en nuevas tecnologías como LTE.

1.2 Problema Investigado

El desarrollo de las comunicaciones celulares ha sido un importante inicio para pensar en buscar nuevas alternativas que mejoren y optimicen los recursos de las redes móviles a favor del usuario y las operadoras. La convergencia de datos y las comunicaciones móviles es el objetivo final de las comunicaciones de cuarta generación, que permitan satisfacer ambos requerimientos de los usuarios con una misma plataforma.

Actualmente existe tres operadoras en Ecuador brindando servicios móviles avanzados

(SMA) con la tecnología 3G conocida como UMTS, servicio como voz, datos y video. El crecimiento de la demanda de usuarios así como de cobertura indica el aumento de servicios de datos que requieren de mayor ancho de banda. Cabe indicar que tener mayor ancho de banda implica mayor capacidad de la interfaz de aire basándonos en estos puntos el Ecuador adopta la cuarta generación (LTE) que ofrece velocidades de transmisiones mayores a las establecidas en UMTS.

1.3 Problema principal

No existe un diseño que mediante un software de planificación permita simular el comportamiento de un sistema móvil LTE a nivel de acceso en un entorno real, específicamente en el sector de la parroquia de Iñaquito, Quito.

1.4 Problema secundario

- No hay estudios que muestren la realidad con respecto a la tecnología LTE en el Ecuador.
- No hay estudios de los componentes y parámetros que intervienen en el diseño de la red de acceso LTE
- No existen diseños de redes de acceso para la parroquia de Iñaquito empleando la herramienta de planificación Atoll
- No existe un estudio que valide el diseño de la red de acceso mediante predicciones.

1.5 Justificación

La iniciativa del presente trabajo surge dentro del ambiente laboral, debido a que el país inicia el despliegue de la red LTE en las principales ciudades del Ecuador, nace la necesidad de estudiar y analizar el comportamiento de una red de acceso del sistema móvil LTE mediante configuraciones, predicciones y simulaciones, para el presente trabajo se toma como escenario la parroquia Iñaquito que se encuentra ubicada en el

Distrito Metropolitano de Quito, que cuenta con un escenario que genera gran cantidad de tráfico; y a su vez estudiar las ventajas que ofrece la herramienta de planificación Atoll en el desarrollo del proyecto.

En la actualidad el despliegue de la red LTE permitirá al usuario una mayor velocidad de transmisión de datos, mientras que a las operadoras móviles la posibilidad de ofrecer nuevos servicios y generar mayores ingresos, además para el país significa un progreso y desarrollo importante.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo principal

Diseñar una red LTE para la parroquia Iñaquito utilizando la herramienta de planificación Atoll.

1.6.2 Objetivos específicos

- Estudiar la situación actual de la tecnología LTE en el Ecuador
- Recopilar y procesar información de los componentes básicos y parámetros que intervienen en el diseño de la red de acceso.
- Diseñar la red de acceso para la parroquia Iñaquito utilizando la herramienta de planificación Atoll.
- Validar el diseño de la red de acceso mediante predicciones en la herramienta de planificación Atoll.

1.7 Metodología

Se realizó la investigación sobre la situación que actualmente mantiene el Ecuador con respecto a la tecnología LTE, adicionalmente se investigó aspecto referentes a la disponibilidad del espectro radio eléctrico, equipos y los operadores que se encuentran

en el mercado.

Además se realizó una investigación sobre la arquitectura, sus componentes básicos y parámetros de la tecnología LTE; adicionalmente se estudió la herramienta de planificación Atoll, su funcionamiento, configuración y las características principales que intervienen en el diseño, como base para iniciar y cumplir con los objetivos propuestos. Posteriormente en la tercera etapa se realizó el diseño en la herramienta de planificación Atoll.

Para cubrir con las primeras etapas se empleó el método de análisis y síntesis, se recolecto considerable información que involucra el tema del proyecto, la misma que fue procesada y analizada con el fin de solventar inquietudes que suscitan en el desarrollo del proyecto; la información fue extraída y procesada de diferentes fuentes como libros, reportes, revistas, publicaciones en la web, etc.

Finalmente se presenta los resultados obtenidos del diseño realizado en la etapa tres, para ello se aplicó el método de inducción y deducción el cual permito analizar los problemas que presenta el diseño, para después deducir las modificaciones o cambios que se deben realizar al diseño para obtener mejores resultados.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Conceptos Básicos sobre Redes Celulares

2.1.1 Celda

En términos de redes móviles es considerada a una celda como el área que está cubierta por un sector de la estación base, básicamente es un sistema de antenas. La zona en la que el móvil y la red pueden comunicarse con una calidad aceptable se llama área de cobertura. La cobertura depende de factores, tales como la banda de frecuencia a usar (mayor frecuencia menor es la cobertura), topología del terreno, tipo y dirección de las antenas, la potencia del transmisor, etc. De acuerdo al terreno las áreas se clasifican en ambientes urbanos, suburbanos y rurales; las celdas se pueden ubicar en diferentes áreas dando lugar a la clasificación de las celdas como: Macro celdas, micro celdas y pico celdas. (Mishra, 2004, pág. 26)

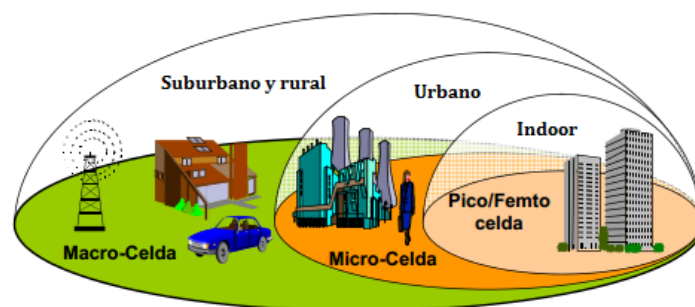


Figura 1: Clasificación de las Celdas de acuerdo al área


Fuente: Reporte; Long Term Evolution, Hugo Campos Polo. Octubre del 2012

A continuación se describe la clasificación de las celdas:

- Macro celdas poseen gran área de cobertura que alcanzan rangos entre 1 a 15 Km, la distancia en función del tipo de terreno y las condiciones de propagación, son utilizadas en ambientes rurales y suburbanas.
- Micro celdas son ubicadas en las azoteas y se utilizan en ambientes urbanos y pocas veces en suburbano y su rango de cobertura oscila entre 0.3 – 2 Km.
- Pico celdas son soluciones instaladas en edificaciones donde la señal no se

abastece con una micro o macro celda y su cobertura es limitada.

En el sistema móvil se emplea el concepto de geometría celular para la creación de estaciones base, este concepto utiliza formas geométricas de tipo triangular, cuadrado y hexagonal, el tipo de forma hexagonal es el más aceptado porque permite mayor cobertura con un mínimo de estaciones y reduce la interferencia inter celdas. Su fórmula es:

$$A_{\text{hexagono}} = \frac{3\sqrt{3}}{2} R^2$$


Fórmula 1: Geometría celular

Fuente: http://ocw.unican.es/enseanzas-tecnicas/redes-telefonicas/material-de-clase-2/Tema3_Moviles.pdf, Dimensionamiento de sistemas celulares, Ramón Agüero Calvo. s.f.

2.1.2 Propagación Multitrayecto

La señal no se transmite directamente hacia el receptor viaja en diferentes direcciones debido a las obstrucciones presentes, esto significa diferentes retardos de tiempo de las ondas reflejadas que recibe el receptor. La figura 3 ilustra lo que ocurre con la señal entre el eNodeB y el UE. Al no existir diferencia de fase entre las ondas, la onda resultante tendrá una intensidad de señal buena, pero si la diferencia de fase es cerca de los 180 grados esta se anula ocasionando desvanecimiento en la señal. (ALTRAN SDB, 2001, págs. 74-75)

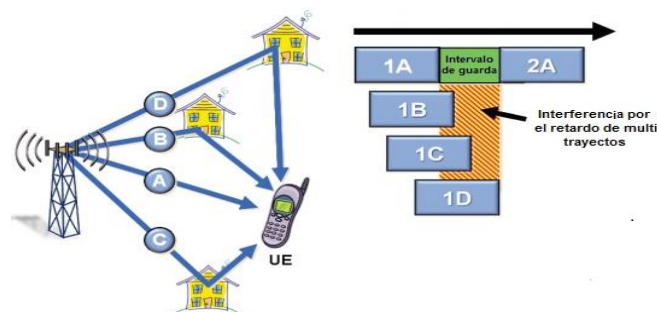


Figura 2: Propagación Multi trayectos

Fuente: Adaptado de LTE100: Introduction Long Term Evolution, Nokia Siemens Networks, 2001

2.1.3 Pérdidas en el trayecto

- ✓ Las pérdidas por penetración indican el desvanecimiento de la señal por la presencia de una obstrucción, estas se encuentran relacionadas con el ángulo de incidencia de la señal, tipo de construcción, la banda de frecuencia y adicionalmente depende del escenario de cobertura. (Huawei Technologies, 2011, pág. 50)



Figura 3: Pérdida por penetración

Fuente: Adaptado de LTE RAN Radio Principles Description, Alcatel Lucent. 2012.
Pérdida

- ✓ Las pérdidas por cable son causadas por los diversos elementos que se encuentran conectados en el recorrido desde la antena hacia la estación base. La pérdida total del cable se reduce en gran medida aproximadamente a 0,5 dB. (Huawei Technologies, 2011, pág. 51)
- ✓ Las pérdidas causadas por el cuerpo son consideradas para el servicio de voz y su valor aproximado es de 3 dB. (Huawei Technologies, 2011, pág. 52)

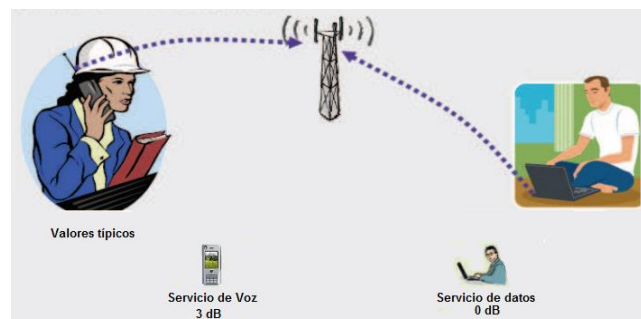


Figura 4: Pérdida por cuerpo

Fuente: Adaptado de LTE RAN Radio Principles Description, Alcatel Lucent. 2012.

2.1.4 Shadowing

Shadowing o desvanecimiento por sombra son las pérdidas de la señal a lo largo de la trayectoria causada por obstrucciones de tipo natural o artificial que no son tomadas en cuenta por el modelo de propagación. Es el margen de confiabilidad de cobertura, mayor margen mayor confiabilidad y viceversa. Los valores típicos de la probabilidad de cobertura en el borde de la celda son del 95% en zonas urbanas y suburbanas y el 90% en zonas rurales. (ALTRAN SDB, 2001, pág. 73)



Figura 5: Pérdida por penetración

Fuente: Adaptado de LTE RAN Radio Principles Description, Alcatel Lucent. 2012.

2.1.5 Sensibilidad de referencia

La sensibilidad indica la intensidad mínima de señal que se requiere para ser decodificado por el eNodoB y el receptor UE frente al ruido térmico. La sensibilidad está definida como:

$$\text{Sensibilidad} = \text{SINR} + \text{KT} + 10\log(15000) + \text{NF}$$

Fórmula 2: Sensibilidad del Receptor

Fuente: LTE Radio Network Planning Guide, Huawei Technologies. 2011.

SINR es la relación señal a interferencia por ruido, que depende de la modulación, esquema de codificación, velocidad de datos y el número de bloques de recursos asignados. KT es el nivel de ruido que mantiene el receptor y su valor es -174 dBm/Hz; la figura de ruido (NF) mide el rendimiento del receptor, el valor típico de la figura de ruido es 7 dB, este valor es propio de equipo (eNodoB). (Huawei Technologies, 2011, pág. 54)

2.1.6 Modelo de Propagación

El modelo de propagación nos indica la cobertura de la señal después de atravesar por diferentes factores que contribuyen a la variación la señal, básicamente indica como la señal de la estación base se propaga en un determinado terreno. (Mishra, 2004, pág. 26)

A continuación se enumeran los modelos más usados en sistemas móviles:

- Modelo de propagación en el Espacio Libre
- Modelo Okumura,
- Modelo Okumura - Hata
- Modelo COST 231
- Standard Propagation Model

A continuación se realiza la descripción del modelo utilizado en el presente trabajo. El modelo Standard Propagation Model (SPM) es un modelo general basado en las fórmulas de HATA y adecuado para tecnologías GSM, UMTS, WiMAX y LTE. El modelo SPM considera el impacto que tiene los diferentes perfiles de terreno en la propagación de radio. El modelo permite su calibración mediante pruebas (Drive Test) que se realizan en campo en la zona de interés, las pruebas captan datos sobre los niveles de señal que permiten sintonizar los coeficientes (K) para que el modelo se ajuste más a la realidad. (Forks, 2011)

La fórmula es la siguiente:

$$L = K_1 + K_2 \log(d) + K_3 \log(h_B) + K_4 \text{Difraction} + K_5 \log(d) \log(h_B) + K_6 h_M + K_{clutter} f(\text{clutter})$$

Fórmula 3: Standard Propagation Model

Fuente: Technical Reference Guide, Forsk. 2011.

Dónde:

L : Pérdida del trayecto (dB)

K₁ : constante de cambio (dB)

K₂ : Factor múltiplo de log(d)

d : Distancia entre el receptor y el transmisor (m)

K_3 : Factor múltiplo de Log (h_B)

h_B : Altura efectiva de la antena del transmisor (m)

K_4 : Factor múltiplo de la difracción calculada. K_4 debe ser un número positivo

Diffraction Loss : Pérdida por difracción y obstrucciones en la propagación (dB)

K_5 : Factor múltiplo de Log (d) x Log (h_B)

K_6 : Factor múltiplo de h_M

h_M : Altura efectiva de la antena receptora (altura de la antena móvil)(m)

$K_{clutter}$: Factor múltiplo de $f(clutter)$

$f(clutter)$: Pérdida efectiva para el clutter

Los valores típicos para el modelo SPM son los siguientes:

Tabla 1: Valores típicos de K del modelo Standard Propagation Model

Parámetros	Mínimo	Valor Típico	Máximo
K_1	Variable	Variable	Variable
K_2	20	44.9	70
K_3	-20	5.83	20
K_4	0	0.5	0.8
K_5	-10	-6.55	0
K_6	-1	0	0

Fuente: Adaptado de Measurements and Model Calibration Guide, Forks, 2011

El modelo SPM para sus cálculos utiliza las pérdidas por difracción (filo de cuchillo), analiza punto por punto la trayectoria entre el transmisor y el receptor, identificando las pérdidas causadas por los obstáculos principales (Non Line of Sight, NLOS). (Ramos, 2011)

2.1.7 Interferencias

La interferencia se encuentra presente en los sistemas de comunicación, y es cualquier cosa que modifique, afecte o interrumpa la señal en el trayecto del canal. Existe dos clases de interferencias importantes que son la interferencia entre celdas (ICI –Inter cell Interference) e Interferencia inter símbolo (ISI- Inter-Symbol Interference).

La Interferencia inter símbolo se crea por los múltiples trayectos que presenta la señal, mientras que la ICI se crea cuando el UE se aleja de la cobertura del eNB e ingresa a la cobertura de otro eNB utilizando el mismo bloque de recursos físicos al mismo tiempo. El valor típico de margen para la interferencia intercelular es de 4dB. (Khan, 2009, pág.419)

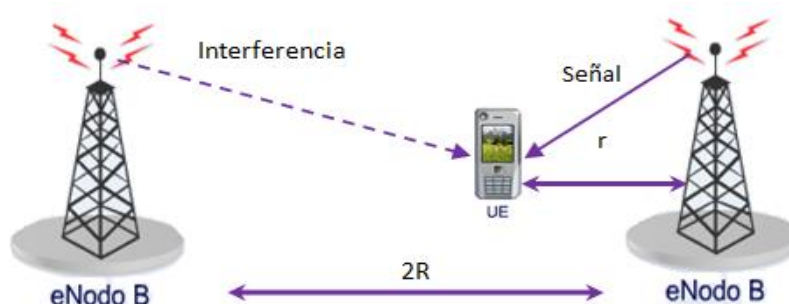


Figura 6: Interferencia Inter-celdas

Fuente: Adaptado de LTE for 4G Mobile Broadband – Air Interface Technologies and Performance, Khan Farooq, 2009

Para mejorar la interferencia ICI se crea el método llamado Coordinación de la interferencia entre celdas (ICIC- Inter-Cell Interference Coordination), la ICIC evita la transmisión a los UE que se encuentran en el borde de la celda, realizando un intercambio de información entre las celdas sobre las subportadoras que se pueden utilizar y evitar las interferencias.

2.2 Long Term Evolution (LTE)

Long Term Evolution traducida al español significa Evolución a Largo Plazo que fue creada por la organización 3GPP (3er Generation Partnership Project) para aumentar la velocidad de transmisión de datos, reducir la interferencia, disminuir el consumo de potencia del terminal y reducir la latencia; esto se logra gracias a las técnicas de acceso empleadas en el canal físico y a la flexibilidad del ancho de banda que va desde 1.4 MHz a 20 MHz. Las técnicas de acceso utilizadas en LTE son OFMDA (Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access) y SC-FDMA (Single Carrier Division Multiplexing Access) con modos de duplexión FDD y TDD para los enlaces descendentes y ascendentes. LTE alcanza aproximadamente 10 veces más la velocidad de la red UMTS mejorando la percepción del usuario. (Polo, 2012, pág. 29)

LTE reduce los costos operativos empleando un estándar denominado Self Organising Network (SON) que realiza la automatización de la red de forma automática. (Hamalainen, Sanneck, & Sartori, 2012, pág. 3)

2.2.1 Bandas de Frecuencia

La tecnología LTE opera en diferentes bandas y admite FDD como TDD, de acuerdo a las especificaciones 3GPP se incluye 19 bandas de frecuencia para FDD y nueve para TDD. Las bandas apareadas para FDD se enumeran del 1 al 24, mientras que las bandas no apareadas para TDD están enumeradas del 33 al 43, como muestra la tabla 2.

Tabla 2: *Bandas de Frecuencia definidos por la 3GPP para LTE*

Banda	Rango Enlace ascendente (MHz)	Rango Enlace descendente (MHz)	Modo Duplex
1	1920–1980	2110–2170	FDD
2	1850–1910	1930–1990	FDD
3	1710–1785	1805–1880	FDD
4	1710–1755	2110–2155	FDD
5	824–849	869–894	FDD
6	830–840	875–885	FDD
7	2500–2570	2620–2690	FDD
8	880–915	925–960	FDD
9	1749.9–1784.9	1844.9–1879.9	FDD
10	1710–1770	2110–2170	FDD
11	1427.9–1452.9	1475.9–1500.9	FDD
12	698–716	728–746	FDD
13	777–787	746–756	FDD
14	788–798	758–768	FDD
17	704–716	734–746	FDD
18	815–830	869–875	FDD
19	830–845	875–890	FDD
20	832–862	791–821	FDD
21	1447.9–1462.9	1495.9–1510.9	FDD
33	1900–1920		TDD
34	2010–2025		TDD
35	1850–1910		TDD
36	1930–1990		TDD
37	1910–1930		TDD
38	2570–2620		TDD
39	1880–1920		TDD
40	2300–2400		TDD
41	2496 - 2690		TDD

Fuente: Adaptado de

http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136100_136199/136101/10.01.01_60/ts_136101v100101p.pdf, TS 36.101, ETSI. 2011

LTE es un sistema que soporta seis anchos de banda con una separación de subportadora de 15 KHz, a continuación se presentan los valores estándar asignados a cada ancho de banda del canal de transmisión.

Tabla 3: *Parámetros de la red LTE – Ancho de Banda*

Ancho de Banda [MHz]	1.4	3	5	10	15	20
Número de Resource blocks (RB)	6	15	25	50	75	100
Número de portadoras ocupadas	72	180	300	600	900	1200
Número Total de subportadoras ocupadas $NS=12 NB +1$	73	181	301	601	901	1201
IDFT(Tx)/DFT(RX) size	128	256	512	1024	1536	2048
Frecuencia de Muestreo [MHz]	1.92	3.84	7.68	15.36	23.04	30.72
Muestra por slot	960	1920	3840	7680	11520	15360
BW efectivo ocupado MHz]	1.095	2.715	4.515	9.015	13.515	18.015

Fuente: Adaptado de

http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136100_136199/136101/10.01.01_60/ts_136101v100101p.pdf, TS 36.101, ETSI. 2011

2.2.2 Arquitectura básica de LTE

La figura 8 describe la arquitectura de la red de un sistema móvil basado en la tecnología LTE, que se comprende de 3 componentes principales que son: el equipo de usuario (UE), el E-UTRAN (Evolved UTRAN) y el EPC (Evolved Packet Core).

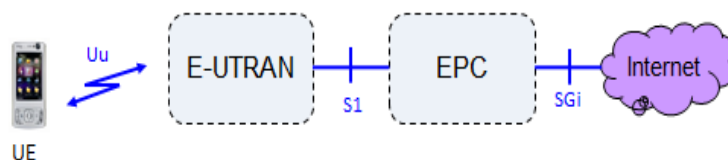


Figura 7: Arquitectura General de LTE

Autor: Elaboración Propia

A continuación se describe los elementos involucrados en la arquitectura:

UE (User Equipment) o equipo de usuario es aquel que permite acceder a la red mediante una interfaz de radio llamada LTE Uu. El equipo de usuario está compuesto de dos partes, el primero se lo conoce como equipo móvil (Mobile Equipment - ME) y la tarjeta universal de circuito integrado (UICC – Universal Integrated Circuit Card) conocida como la tarjeta USIM que contiene el IMSI (International Mobile Station Identity) y claves de seguridad. (Agusti, et al., 2010, pág. 56)

El UE opera en dos estados conocidos como Conectado o Idle, el estado conectado indica

que el terminal se encuentra activo, básicamente está enganchado a un celda específica de la red. El modo Idle es cuando el terminal mantiene una baja actividad evitando el desgaste de la batería. (Dahlman, Parkvall, & Skold, 4G LTE / LTE-Advanced for Mobile Broadband, 2011, págs. 314-315)

La figura 9 muestra la arquitectura de la red de acceso y sus respectivas interfaces, la E-UTRAN está compuesta por un solo tipo de componente llamado evolved NodeB (eNB) que es la evolución del Nodo B utilizado en la tecnología UMTS y es el responsable de la comunicación de radio entre el UE y el EPC. (Cox, 2012, pág. 23)

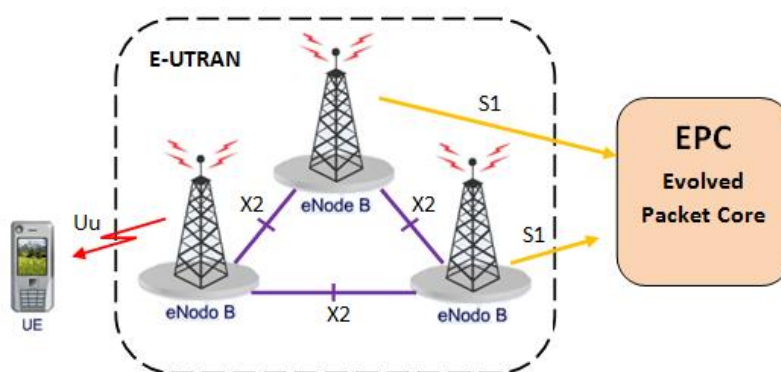


Figura 8. Arquitectura de la E-UTRAN

Fuente: Adaptado de LTE/EPS Network Architecture, Nokia Siemens Network, 2012

El eNodeB es una estación base que mantiene el control de los terminales de uno o varios sectores usando eficientemente la interfaz de radio, controla tres interfaces que son Uu, X2, S1. La interfaz Uu o LTE Uu más conocida como la interfaz aire basada en OFDMA en DL y SC-FDMA en UL que permite transferir información desde el eNB hacia el UE utilizando el canal de radio, esta información ayuda a los terminales aprender sobre la red y ser capaces de acceder y registrarse. El proceso de transferencia de paquetes entre el eNB y el UE se lo conoce como Radio Bearer (RB). (Agusti, et al., 2010, pág. 66)

La interfaz X2 realiza la comunicación entre los eNBs, permitiendo administrar la movilidad de los usuarios, configuración y medición de parámetros de la señal de radio para la toma de decisiones y determinación de la nueva celda en el proceso de handover. Se encarga de gestionar los recursos de radio, como el control de los radio bearers, asignación dinámica de recursos de radio a los UE tanto en enlace ascendente y

descendente. Mientras que la interfaz S1 permite la comunicación entre el eNB con la Evolved Packet Core (EPC). Durante la llamada el eNB selecciona el MME del EPC. (Award Solutions, 2014, pág. 12)

La etapa *EPC (Evolved Packet Core)* se encarga de la comunicación con las redes de paquetes exteriores y de la autenticación, las funciones asignadas no se relacionan con la interfaz de radio. Los principales componentes lógicos del EPC son MME, S-GW y PDN Gateway (P-GW), adicionalmente incluye otros nodos lógicos como el Home subscriber Server (HSS) y Policy control and Charging Rules Functions (PCRF). (Award Solutions, 2014, pág. 7)

2.2.3 Interfaz de Radio

Se define como el conjunto de parámetros físicos de radio que permiten la comunicación entre en UE y la estación base tanto en el enlace de bajada como de subida. Soporta dos esquemas de acceso múltiple que son OFDMA (Orthogonal Frequency division Multiple Access) y SCFDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access), adicionalmente LTE opera con dos modos de duplexión que es FDD y TDD.

OFDM (Orthogonal Frequency división Multiplexing) es un sistema que divide el ancho de banda disponible en varias subportadoras muy próximas entre sí, por lo que cada símbolo transporta una gran cantidad de información. Cada subportadora se modula con un esquema de modulación convencional como QPSK, 16QAM, 64QAM. OFDM disminuye la interferencia entre símbolos (ISI) que es causada por la propagación multitrayecto. Para la creación de las subportadoras ortogonales la técnica de acceso utiliza la Transformada Rápida de Fourier (FFT – Fast Fourier Transform), que determina el número de subportadoras de acuerdo al tamaño de FFT, las subportadoras están separadas 15 KHZ. La propagación multitrayecto crea una diferencia de fase generando, el fenómeno llamado eco más conocido como la interferencia entre símbolos (ISI- Inter-Symbol Interference). El ISI depende del escenario de propagación y no de la modulación empleada. (Birkelun & B., 2012, págs. 11-12)

Para disminuir el ISI se incorpora a cada símbolo un intervalo de tiempo o periodo de guarda denominado Prefijo cíclico (CP- Cyclic Prefix) que proporciona información redundante, este debe ser lo suficientemente largo para captar todas las señales. Se tiene dos opciones de prefijo cíclico, el CP normal que se lo utiliza para celdas pequeñas o con poca dispersión de retardo multitrayecto y el CP Extendido, empleado en celdas grandes o con perfiles de retardo largo. (Dahlman, Parkvall, Skold, & Beming, 3G Evolution: HSPA and LTE for Mobile Broadband, 2008, págs. 48-49)

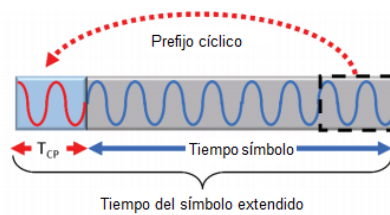


Figura 9: Prefijo cíclico

Fuente: Adaptado de LTE 100: Introduction to Long Term Evolution, Nokia Siemens Networks, 2011

2.2.3.1 OFDMA

Orthogonal Frequency Division Multiple Access divide el canal en varias subportadoras que son asignadas a cada uno de los usuarios dependiendo de las condiciones del canal, esto permite aumentar la duración del símbolo y la reducción de la interferencia entre símbolos (ISI). (Toskala & Holma, 2009, pág.70)

La figura 11 muestra un ejemplo del esquema OFDMA con tres usuarios que comparten cuatro subportadoras, en cada tiempo de símbolo todos los usuarios tienen acceso, la asignación de subportadoras para un usuario puede cambiar en cada tiempo de símbolo.

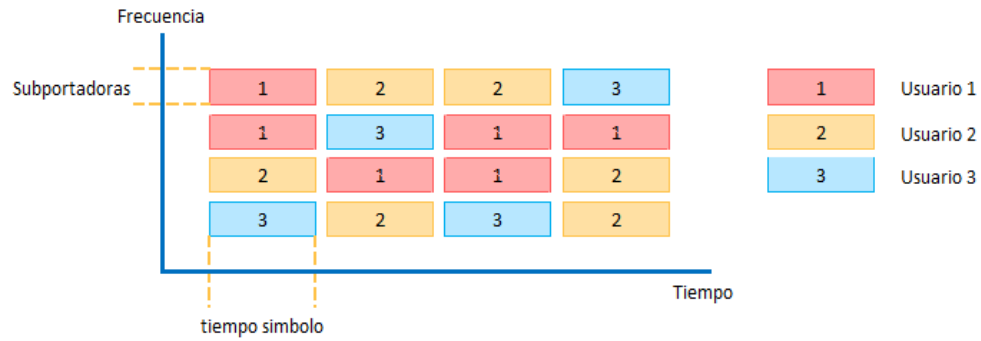


Figura 10: Esquema OFDMA

Fuente: Adaptado de Physical Layer Measurements in 3GPP LTE, Birkelund & Birk, 3 de febrero del 2012

La figura 12 muestra las diferentes etapas que atraviesa la señal en el transmisor OFDMA, los bits son codificados y agrupados en símbolos de 1 a 6 y se modulan utilizando QPSK, 16QAM o 64QAM, las señales moduladas se les asigna una subportadora distinta, el bloque IFFT transforma el diagrama frecuencia al de tiempo mediante la suma de las subportadoras, se agrega el CP para evitar la interferencia inter simbólica y se realiza la transmisión por el canal de comunicación, para la parte del receptor se realiza el mismo procedimiento pero tomando en cuenta que los pasos finales serán los primeros que se deben emplear. (Toskala & Holma, 2009, págs. 73 - 74)

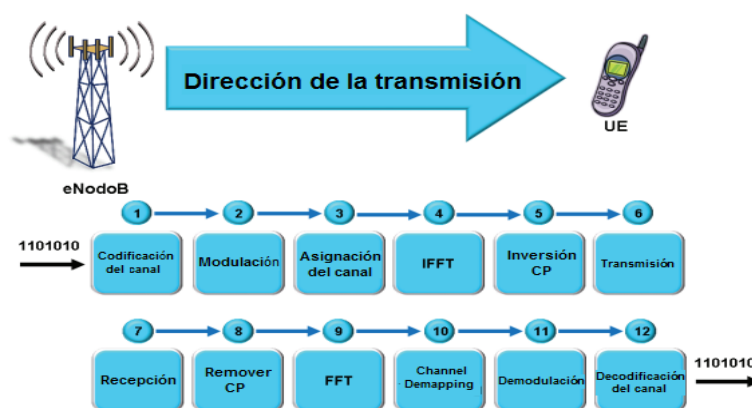


Figura 11: Funciones del Transmisor OFDMA

Fuente: Adaptada de LTE100: Introduction to Long Term Evolution, Nokia Siemens Networks, 2009

El uso de la técnica OFDMA tiene algunas ventajas como: (Agusti, et al., 2010, págs.191-192)

- OFDMA permite la asignación de subportadoras a los usuarios dinámicamente, gracias al método de scheduling, scheduling es un método que permite tener un mejor manejo de la banda y una mayor velocidad de transmisión.
- Se reduce considerablemente la interferencia inter simbólica (ISI) y mayor robustez frente a la propagación de multitrayecto, esto se logra por la aplicación del prefijo cíclico.
- La velocidad de transmisión es flexible esto se debe a la asignación dinámica de recursos en función de los servicios solicitados.
- Permite la compatibilidad con tecnologías de antenas avanzadas.

La desventaja que presenta la técnica de acceso OFDMA es la presencia de un PAPR elevado (Peak to Average Power Ratio), cuanto más alto los picos, mayor es la gama de niveles de potencia sobre la que se requiere trabajar el transmisor, esto implica amplificadores de potencia lineales que eviten la distorsión ocasionada por la intermodulación, esto involucran costos elevados. (Agusti, et al., 2010, pág. 192)

2.2.3.2 SC-FDM

Single Carrier Frequency división Multiple Access es la técnica de acceso utilizada para el enlace ascendente, tiene mejores características a nivel de PAPR, que lo consigue empleando una pre codificación de los símbolos antes que ingrese al proceso de transmisión OFDM, reduciendo las variaciones en la potencia instantánea e ideal para el enlace ascendente. (Gessner, 2007, págs. 11-12)

La figura 13 muestra el esquema SC FDM empleado con tres usuarios que comparten todo el ancho de banda disponible, en una parte de tiempo de símbolo todos los usuarios tienen acceso.

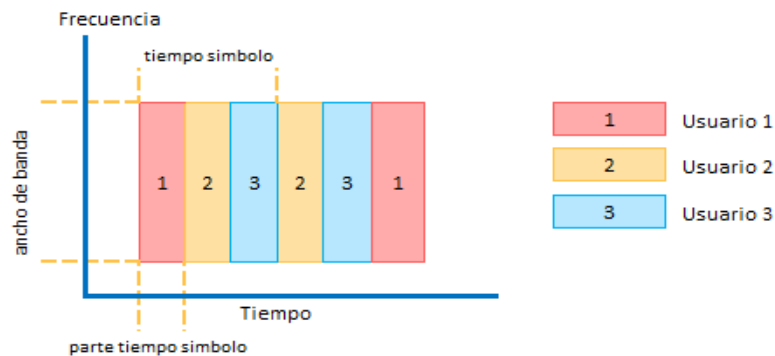


Figura 12: Esquema SCFDM

Fuente: Adaptado de Physical Layer Measurements in 3GPP LTE, Birkelund & Birk, 3 de febrero del 2012

El esquema de transmisión y recepción SCFDM es similar a la técnica de acceso OFDMA, la única diferencia entre estos dos sistemas es la ubicación del módulo de IDFT (Inverse Discret Fourier Transform). SC-FDMA se utiliza en el UE por ser sencilla y económica, al utilizar amplificadores que no consuman mucha potencia, prolongan la vida útil de la batería del equipo. (AIRCOM International, 2010, pág. 160)

2.2.4 Esquemas de codificación y Modulación

Para poder transportar información por una onda de radio se utiliza una técnica de modulación. La modulación es el proceso en el cual se cambia la amplitud, frecuencia o fase de la onda de radio. Las técnicas de modulación que admite LTE son QPSK (2 bits por símbolo), 16QAM (4 bits por símbolo) y 64 QAM (6 bits por símbolo) para el enlace ascendente y descendente, la técnica es seleccionada en base a la relación señal a interferencia y ruido (SINR), por ejemplo cuando el usuario se encuentra lejano a la estación base y con malas condiciones climáticas necesita de un esquema de modulación más robusta como se ve en la figura 14. (Nokia Siemens Networks, 2011, págs. 43-44)

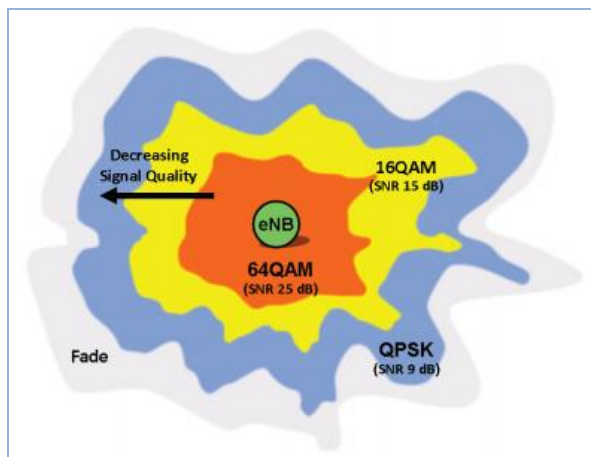


Figura 13: Modulación y Calidad de Señal

Fuente: LTE 100: Introduction Long Term Evolution, Nokia Siemens Network, 2011

LTE emplea la adaptación dinámica de enlace conocida como AMC (Adaptive Modulation and Coding) que radica en seleccionar la mejor modulación y codificación en las transmisiones realizadas por los usuarios. Este mecanismo permite aumentar la capacidad a medida que aumenta la relación señal a interferencia y ruido, cumpliendo con la teoría de Shannon $C = B \log_2(1 + \text{SINR})$. El UE evalúa las condiciones de canal de radio del enlace y envía un parámetro llamado Channel Quality Indicator (CQI), para informar al Scheduler de la modulación y codificación que cumpla con el parámetro BLER del 10%, conocido el MCS, el eNB responde con un índice de MCS que indica al UE la modulación y codificación que deben transmitir. El CQI es un parámetro que utiliza mediciones realizadas en el enlace descendente. (Ali-Yahiya, 2011, pág. 152)

2.2.5 Estructura de la trama

La estructura de la trama de radio tiene una duración de 10ms y existe dos tipos de estructura que dependen del modo de duplexión, el tipo 1 es para FDD y el tipo 2 para TDD. La estructura define la trama, subtrama, slot y el símbolo en el dominio del tiempo. (Birkelund & Birk, 2012, págs. 11 - 12)

La figura 15 muestra la estructura de la trama FDD que tiene una longitud total de 10ms compuesta de 10 subtramas y cada subtrama está dividida en 2 slots de tiempo y con una duración de 0.5 ms en el dominio del tiempo, donde la subtrama representa el intervalo de tiempo de transmisión (TTI – Transmission Time Interval). (European Telecommunications Standards Institute, 2009)

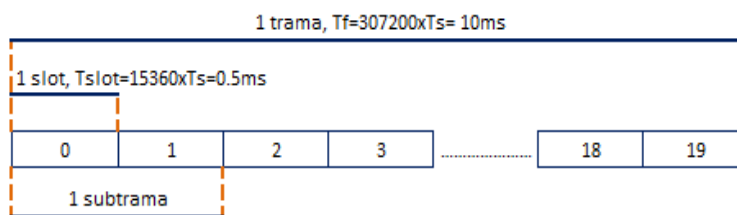


Figura 14: Estructura de la Trama

Fuente: Adaptado de

http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136200_136299/136211/08.07.00_60/ts_136211v080700p.pdf, TS -36.211, ETSI. 2009

La estructura de un slot consta de 7 (CP normal) o 6 (CP extendido) símbolos FDMA en el dominio del tiempo y 12 subportadoras en el dominio de la frecuencia. Las subportadoras en LTE tienen un espaciamiento constante de 15 KHz. En la capa física 12 subportadoras consecutivas se agrupan en una Physical Resource Block (PRB) que tiene una duración de un slot de tiempo y dentro del RB existe 84 RE(12x7) o 72 RE(12x6) y en el dominio de la frecuencia a 180 KHz (12 subportadoras x 15 KHz = 180 KHz) es el mínimo de información que puede ser planificada en el eNB y asignar al UE; un Resource Element (RE) es una subportadora de un símbolo OFDMA o SC-FDMA. (Khan, 2009, págs. 173-174)

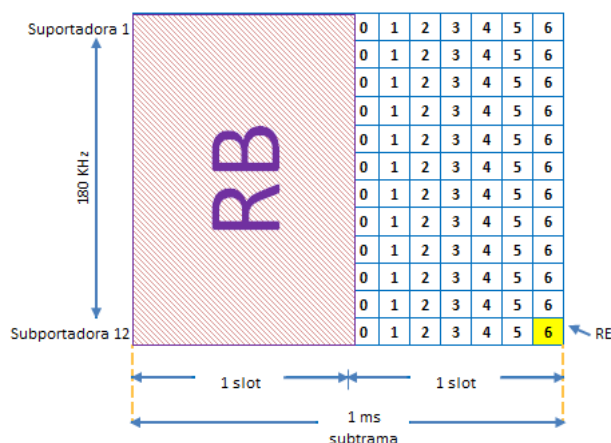


Figura 15: Estructura del Resource Block

Fuente: Adaptado de LTE Air Interface, Nokia Siemens Networks. 2011

2.2.6 Señales y Canales Físicos

En LTE existen señales físicas y canales físicos para los enlaces ascendentes y descendentes, las señales físicas permiten al UE realizar la evaluación del canal de radio

y la sincronización con la red. Mientras que los canales físicos son los encargados de transportar la información a los usuarios que se encuentran en la zona de cobertura de una estación base eNB. (Sesia, Toufik, & Baker, 2011, pág. 189)

Para el enlace descendente se tiene señales físicas como las *Señales de Referencia* que permiten al UE decodificar los canales físico, tener una estimación del canal de forma permanente y realizar un mecanismos de búsqueda de celdas, mientras que las *señales de sincronización* permiten a los UEs detectar e identificar la celda durante el ingreso a la red. El identificador físico de la celda (PCI – Physical Cell ID) es transmitido en la señal de sincronización y tiene un rango de 0 a 503, que están divididos en tres grupos de 168, estos valores permiten distinguir a las celdas dentro de un grupo. El ID asignado debe ser único en la cobertura de la celda y las celdas adyacentes no deben tener el mismo ID. (Agusti, et al., 2010, pág. 258)

Los canales físicos empleados en LTE se clasifican en canales de tráfico y de control, en LTE los canales de tráfico son compartidos. A continuación se describe los canales físicos utilizados en el desarrollo del proyecto:

- *Physical Downlink Shared Channel (PDSCH)* es el canal físico principal que lleva los datos del Usuario, y mensajes de señalización (paging) que no es transmitido por el canal PBCH. Al no ser un canal dedicado, este es asignado solo al usuario que necesite recibir información. Utiliza las modulaciones QPSK, 16 QAM y 64 QAM. (Agusti, et al., 2010, pág. 261)
- *Physical Downlink Control Channel (PDCCH)* este canal es usado por el eNB para transportar información de control a los UEs, cada 1ms informa sobre los recursos que han sido asignados en el enlace descendente, así como la modulación y codificación. El canal PDCCH puede usar 3 símbolos OFDM. Se utiliza para la información de control de enlace descendente y utiliza modulación QPSK, muy robusta (Lescuyer & Lucidarme, 2008, pág. 124)
- *Physical Uplink Shared Channel (PUSCH)* se emplea para transmitir información del usuario (lleva tráfico para múltiples UE) y de control que proviene de las capas superiores. (Agusti, et al., 2010, pág. 273)

- *Physical Uplink Control Channel (PUCCH)* es un canal de control utilizado para realizar peticiones de recursos, y para transmitir información sobre la calidad del canal (CQI). (Agusti, et al., 2010, pág. 275)

2.2.7 Planificar o Scheduler en eNodeB

LTE utiliza Scheduler para gestionar y asignar los recursos al canal, es decir planifica la asignación de Resource block (RB) a los canales físicos que pertenecen a diferentes usuarios o para tareas del sistema, permite hacer una adaptación rápida del enlace según el canal mediante la modulación y codificación para maximizar el rendimiento. El Scheduler distribuye los RB disponibles de la celda entre todos los UEs. (AIRCOM International, 2010, pág. 166)

En el presente proyecto se utiliza la estrategia Scheduler *Proportional Fair*, este método asigna los recursos de forma equitativa, aprovechando al máximo las condiciones del canal de manera que cada UE puede alcanzar su mayor rendimiento. (Dahlman, Parkvall, Skold, & Beming, 3G Evolution HSPA and LTE for Mobile Broadband, 2008)

2.2.8 MIMO

Multiple Input Multiple Output (MIMO) es un mecanismo utilizado en las transmisiones inalámbricas, utilizando el dominio espacial y fenómenos físicos que permiten mejorar el rendimiento de la red. Como utiliza dominio espacial, se requiere de múltiples antenas en el transmisor y receptor, que deben estar separadas una distancia prudente para crear canales espaciales. MIMO trabaja en sistemas de transmisión sin línea de vista (NLOS), emplea el concepto de propagación multitrayecto. (Albentia Systems, 2013)

2.2.9 Servicios de LTE

LTE tiene como objetivo alcanzar altas velocidades con menor latencia, estas dos características dan oportunidad para crear nuevas aplicaciones en tiempo real, según el requerimiento del usuario, los servicios son: (Alcatel.Lucent, 2012)

- Video bajo demanda (streaming)
- Videoconferencia
- Juegos en línea
- Transferencia de archivos
- Aplicaciones de internet móvil
- VoIP

CAPÍTULO 3

DISEÑO DE UNA RED MÓVIL LTE PARA LA PARROQUIA DE IÑAQUITO UTILIZANDO LA HERRAMIENTA DE PLANIFICACIÓN ATOLL

El presente capítulo presenta el desarrollo de las etapas que se ven involucradas en el diseño de la red de acceso. La primera etapa describe la situación que atraviesa el Ecuador con respecto a la tecnología LTE, para continuar con los detalles correspondientes a los componentes básicos y parámetros que se ven involucrados en la configuración de la herramienta de planificación Atoll para iniciar con el pre diseño de la red. Seguido de la tercera etapa donde se da inicio al diseño de la red mediante la herramienta de planificación y finalmente la cuarta etapa que muestra los resultados del diseño mediante predicciones y simulaciones que permiten validar el diseño de la red.

3.1 Estudio de la situación actual de la tecnología LTE en el Ecuador

Según las estadísticas presentadas por la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones muestran que hasta abril del 2014, existe un total de 17.899.627 líneas activas (que incluye voz, datos) y va en aumento, la distribución de los abonados se da en base a las tres operadoras móviles que se encuentran en el Ecuador y su distribución es la siguiente: la mayor concentración de abonados la tiene la operadora CONECEL S.A. (Claro) con 12.147.229 que representa el 68%, seguido de OTECEL S.A (Movistar) con 5.165.987 equivalente al 29% y por último esta la Corporación Nacional de Telecomunicación (CNT) con 586.411 que representa el 3%. La figura 17 muestra lo antes expuesto. (Consejo Nacional de Telecomunicaciones - CONATEL, 2014)

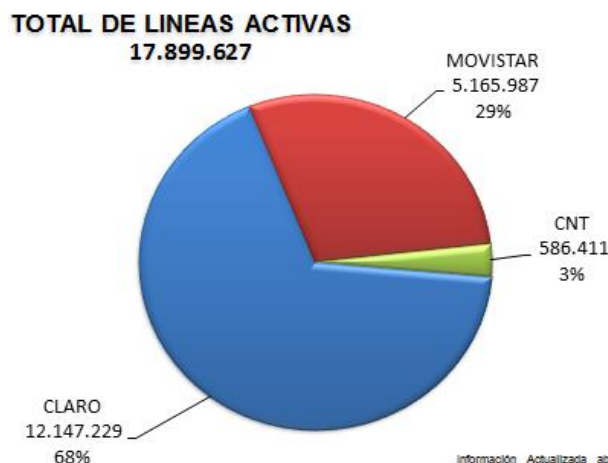


Figura 16: Distribución de usuarios en las diferentes operadoras

Fuente: Adaptado de <http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/biblioteca>,
Resumen Gráficas, CONATEL. 2014

La tabla 4 muestra la clasificación de abonados por las diferentes tecnologías y operadoras presentes en el Ecuador.

Tabla 4: Abonados por Operador y por Tecnología

Fecha	LTE	UMTS - HSPA+	CDMA	GSM	Total	Operador
abr-14	-	446.773	-	4.719.214	5.165.987	OTECEL S.A
	-	1.783.773	-	10.363.456	12.147.229	CONACEL S.A
	1.420	275.164	68.492	241.335	586.411	CNT E.P
Total	1.420	2.505.710	68492	15.324.005	17.899.627	

Fuente: Adaptado de <http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/biblioteca>,
Histórico Líneas Activas SMA tecnología, CONATEL. 2014

Las estadísticas de abonados de las operadoras móviles del país muestran que en estos últimos años ha sobrepasado la cantidad de ecuatorianos que existen hoy en día; se tiene un total de 17.899.627 abonados registrados, en relación a los 15.795.809 Ecuatorianos, el crecimiento de la telefonía móvil es acelerado y va de la mano con el incremento de las radio bases que permiten cubrir las zonas de mayor demanda.

De acuerdo a la tabla 4 se realiza un gráfico tipo pastel, donde se puede visualizar que la tecnología GSM es la dominante en el mercado Ecuatoriano con un aproximado de 15 millones de abonados equivalente al 85%, cabe indicar que en el 2008 la tecnología

UMTS nace en el mercado Ecuatoriano con la operadora CONECEL, hasta el momento tiene el 14% de abonados y se encuentra en crecimiento debido a la demanda de servicios de datos.

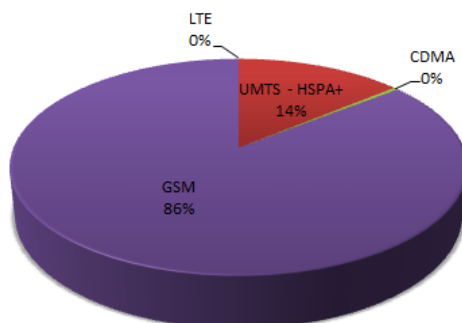


Figura 17: Tecnologías a nivel Nacional

Autor: Elaboración Propia

Las estadísticas presentadas por el CONATEL, el crecimiento de tráfico a nivel de datos está siendo soportado por la tecnología 3G, cada vez las necesidades del usuario son mayores a nivel de datos, motivo principal que impulsa a mirar hacia el futuro y buscar alternativas que brinden al usuario un mejor servicio, enfocándonos en el despliegue red. LTE básicamente se enfoca al tráfico de datos.

Según la resolución TEL-804-29-contal-2012 El Concejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL) otorgo licencia para operar en las bandas de 700 MHz y AWS a la operadora estatal CNT para el despliegue de la tecnología LTE y ofrecer servicios a nivel de datos. El espectro asignado para el despliegue de la red comprende de 70 MHz distribuidos de la siguiente manera: 30 MHz para la banda de 700 MHz y el resto de espectro para la banda de 1700 – 2100 MHz (AWS – Advanced Wireless Service) con el fin del despliegue de la nueva tecnología. (Consejo Nacional de Telecomunicaciones - CONATEL, 2012)

A continuación la tabla 5 muestra la distribución del espectro asignado a las operadoras del Ecuador con sus respectivas tecnologías.

Tabla 5: *Bandas de Frecuencia asignadas para Servicios Móviles Avanzados*

Operador	Banda de Frecuencias – [MHz]		Denominación
OTECCEL	835 – 845 / 846.5 - 849 / 880 – 890		Bloques B – B' en 850 MHz
	1865 - 1870	1945 – 1950	Bloques D – D' en 1900 MHz
CONECEL	824 – 835 / 845 – 846.5 / 869 – 880 / 890 – 891.5		Bloques A – A' en 850 MHz
	1885 - 1890	1965 – 1970	Bloques E – E' en 1900 MHz
	1895 - 1910	1975 – 1990	Bloques C – C' en 1900 MHz
TELECSA / CNT E.P.	1890 - 1895	1970 - 1975	Bloques F – F' en 1900 MHz
	733 - 748	788 - 803	Bloques G – G', H – H', I – I' en 700 MHz
	1710 - 1730	2110 -2130	Bloques A – A', B – B', C – C', D – D' en banda de AWS (1700 / 2100 MHz)

Fuente: Adaptado de <http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/espectro-radioelectrico/>, Plan Nacional de Frecuencias, CONATEL. 2014

Los bloques de la banda de 700 MHz actualmente se encuentran brindando servicio de Televisión Codificada Terrestre, Radiodifusión Sonora y Televisión respectivamente en algunas ciudades del país, el despliegue de la red en la banda de 700 MHz podrá empezar una vez que se finalice los contratos de concesión. (Consejo Nacional de Telecomunicacion - CONATEL, 2012)

3.2 Recopilación y procesamiento de la información de los componentes básicos y parámetros que intervienen en el diseño de la red de acceso.

3.2.1 Componentes Básicos de la red LTE

3.2.1.1 Núcleo de la red

La red del Core EPC está conformada básicamente por S-GW, PGW y el MME, para los servidores Gateway se usan routers y plataformas ATCA (Advanced Telecommunications Computing Architecture) para la parte del MME, estos elementos se encuentran dentro de la estructura interna del operador móvil, y depende del proveedor elegido por la operadora. En el mercado Ecuatoriano los principales proveedores de equipos de telecomunicaciones son: Huawei Technologies, Alcatel-Lucent, Ericsson y Nokia Siemens Network, muchos de estos presentan soluciones

completas de las estaciones celulares debido al despliegue y experiencias en otros países.

Al momento de elegir los equipos, las operadoras móviles pueden continuar con los proveedores de las redes antiguas, esto les permite reducir gastos de capital (CapEx) y costos de operación (OpEx) o incursionar con un proveedor nuevo que involucra mayor inversión. Se debe recalcar que por lo antes mencionado la etapa del Core de la red LTE queda fuera del diseño que se realiza en el presente trabajo.

3.2.1.2 Red de Acceso

La red de acceso está constituida por varios eNB e interfaces que permiten la comunicación entre ellos y otras etapas de la red. Los eNodos B (estaciones base) son elementos de la etapa de acceso de radio que proporciona cobertura a los UE, los cuales están compuestos por la unidad de banda base (BBU) y unidades de radio remotas (RRU). Estas unidades se conectan a través del puerto óptico CPRI. El radio de cobertura del eNB está limitado por varios factores como la potencia del transmisor, la frecuencia usada, topología del terreno, tilt, altura de la antena y por último el tráfico que soporta.

La interfaz aire o Uu es aquella que comunica a los UE con los eNB y viceversa. Los eNodosB se conectan directamente entre sí mediante la interfaz lógica X2 formando una topología semi – malla, esto evita que se involucre el Core durante las transferencias de información (control y tráfico de usuario) entre ellos, facilitando la gestión de interferencia. La interfaz S1 permite la comunicación de los eNodosB con el Core, S1 esta subdividida en S1-U que es la interfaz del plano de usuario entre el eNodoB y el S-GW, dedicada solo para datos de usuario, mientras que la interfaz S1-MM2 es de plano de control entre el eNodoB y la MME para intercambio. La figura 19 muestra los equipos e interfaces involucradas en la red de acceso.

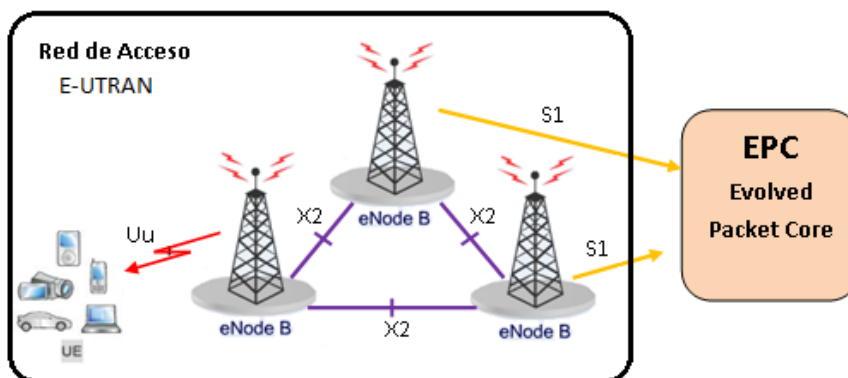


Figura 18: Elementos de la Red de Acceso

Fuente: Adaptado de LTE/EPS Network Architecture, Nokia Siemens Network, 2012

Para la ubicación de los eNodos B (estaciones base) se parte de dos consideraciones: la primera es iniciar el diseño de la red desde cero, es decir no se tiene ningún sitio o red existente en la zona de estudio, para este caso las herramientas de planificación son de mucha utilidad, permiten realizar la planificación empleando el concepto de geometría de celdas (capítulo II), lo que realiza el programa es crear teóricamente la mejor ubicación considerando los mapas digitales del terreno, los resultados entregados por la herramienta deben ser validados en campo. La segunda consideración es obtener una base de datos de una red existente, esta puede ser de otra tecnología como GSM o 3G, esta opción permite al operador reducir en costos de alquiler o compra del espacio a instalar el equipo radiante. La base de datos básicamente debe poseer información correspondiente a las coordenadas, azimut, alturas, tilt que son importados en la herramienta de planificación para iniciar con la planificación de la red.

De acuerdo a la zona de estudio, se elige eNodosB de tipo micro (urbano) compuestas de 3 antenas como máximo, las antenas son seleccionadas principalmente por la banda de frecuencia de operación, se considera las pérdidas de los cables (jumper, feeder), mientras que las pérdidas de los conectores y TMA son despreciables. En la sección de Anexos se describe las características técnicas de la antena y eNB elegidos para el presente proyecto. La figura 19 muestra las partes que conforman el eNodoB:

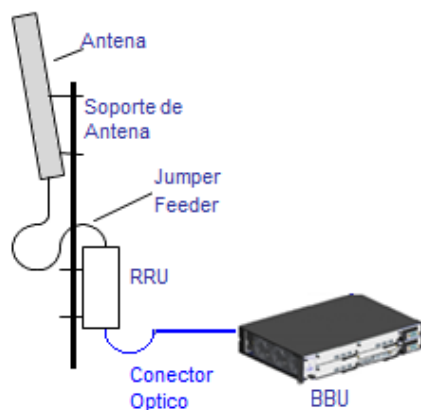


Figura 19: Esquema del eNodeB

Fuente: Adaptado de LTE Implementation, Nokia Siemens Network, 2012

El *equipo de usuario* o terminal es un dispositivo que evoluciona en conjunto con la tecnología. Es responsabilidad de la industria de las Telecomunicaciones como operadores, fabricantes y distribuidores introducir en el mercado dispositivos que faciliten el despliegue de la red, sin olvidar costo beneficio que esto conlleva a los usuarios.

Se debe considerar que la inclusión de diversos y nuevos dispositivos en el mercado que soporten la tecnología LTE, al igual que el costo y modelos son factores que afectan directamente al crecimiento de la misma.

Para el diseño de la red se consideró los dispositivos USB como terminales, tomando en cuenta que la red LTE está diseñada en primera instancia solventar el tráfico de datos. Para el servicio de voz se está pensando aplicar la técnica llamada CS Fallback, esta técnica redirige la llamada a otra tecnología con soporte de CS (Circuit Switches) como GSM o UMTS.

3.2.2 Elección de la herramienta de planificación

La herramienta de planificación desempeña un papel muy importante en el diseño de las redes, permite crear y predecir el comportamiento de una red lo similar a la realidad. Las mismas pueden ser adquiridas de dos maneras: la primera es de modo comercial (se necesita pagar por la licencia), mientras que la segunda es mediante demos o software portables que son de libre acceso.

Para el diseño de la red se elige la herramienta de planificación Atoll en versión portable que es de libre acceso, permitiendo facilitar la planificación de la red de acceso con un enfoque más realista, esto se logra por la ubicación de los sitios y la cartografía elegida para las diferentes predicciones y simulaciones. A continuación se explica aspectos destacados de la herramienta de planificación que ayudan a la elaboración del presente proyecto.

La herramienta de planificación Atoll es un software que fue desarrollada por la empresa FORSK, esta permite realizar la planificación y optimización de redes móviles tales como 2G (GSM/GPRS/EDGE), 3G (UMTS/HSPA), 4G (LTE), Wi-fi, WiMax y enlaces de microondas, adicionalmente se puede crear redes de múltiples tecnologías o plataformas. Se basa en una interfaz gráfica para el usuario (GUI – Graphical User Interface), permitiendo el fácil manejo y configuración. En la figura 20 se ve un ejemplo de la interfaz de usuario y los respectivos nombres de las ventanas. (Forks, 2011)

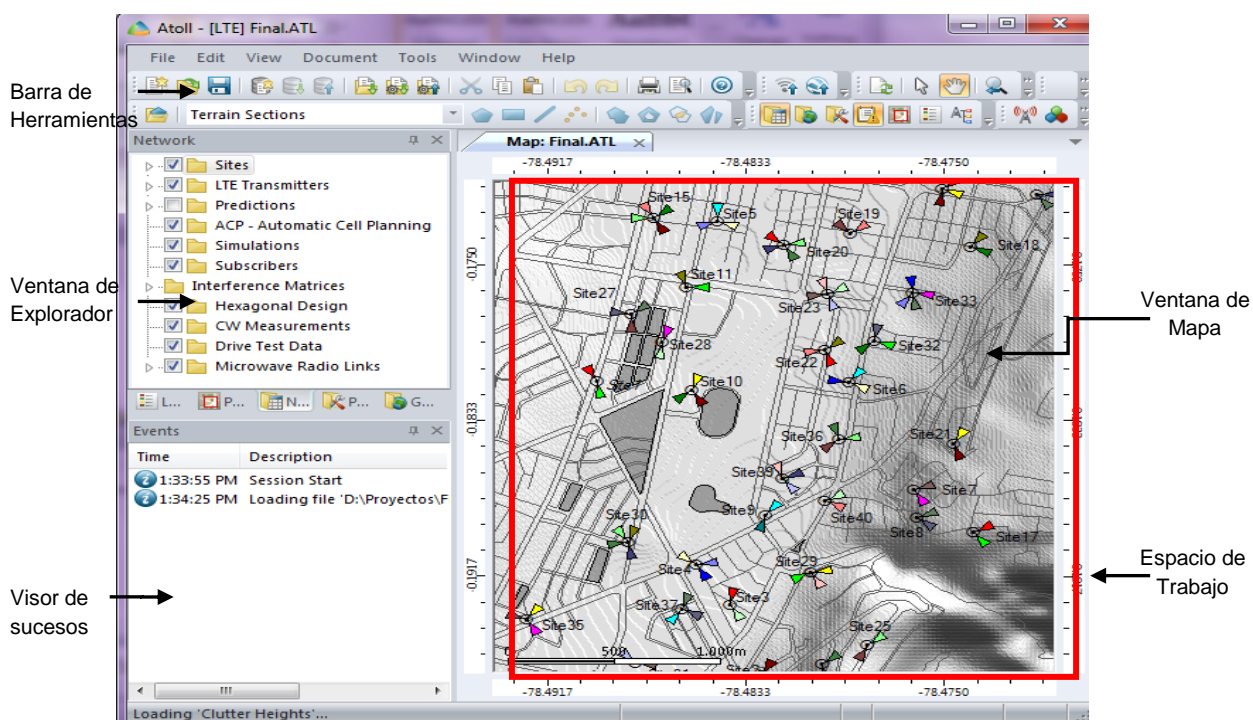


Figura 20: Interfaz de Usuario Atoll

Fuente: Adaptado de User Manual LTE, Forsk, 2011

El proceso de instalación y manejo de la herramienta de planificación se describe mediante el Manual de Usuario que se encuentra en la sección de Anexos.

Atoll incluye un Sistema de Información Geográfica (GIS- Geographic Information System) que permite la gestión de cualquier tipo de datos geográficas digitales. GIS elimina información innecesaria, permitiendo que los procesos sean más rápidos y fáciles de usar. (Forks, 2011, pág.18)

El modelo de propagación permite a la herramienta de planificación Atoll pronosticar el nivel de señal en un punto determinado. Atoll da la opción de elegir el modelo que mejor se ajuste al proyecto. Los modelos de propagación que presenta son: Okumura-Hata y Cost-Hata, Estándar Propagation Model (SPM), WLL, Vienna 93, IUT 529, Longley- Rice, que se basan en formulas con parámetros modificables para que se adapten a la realidad. (Forks, 2011, pág.18).

Atoll presenta un diagrama de flujo que explica el proceso a seguir para el diseño de la red, esto permite al diseñador un mejor entendimiento de la herramienta.

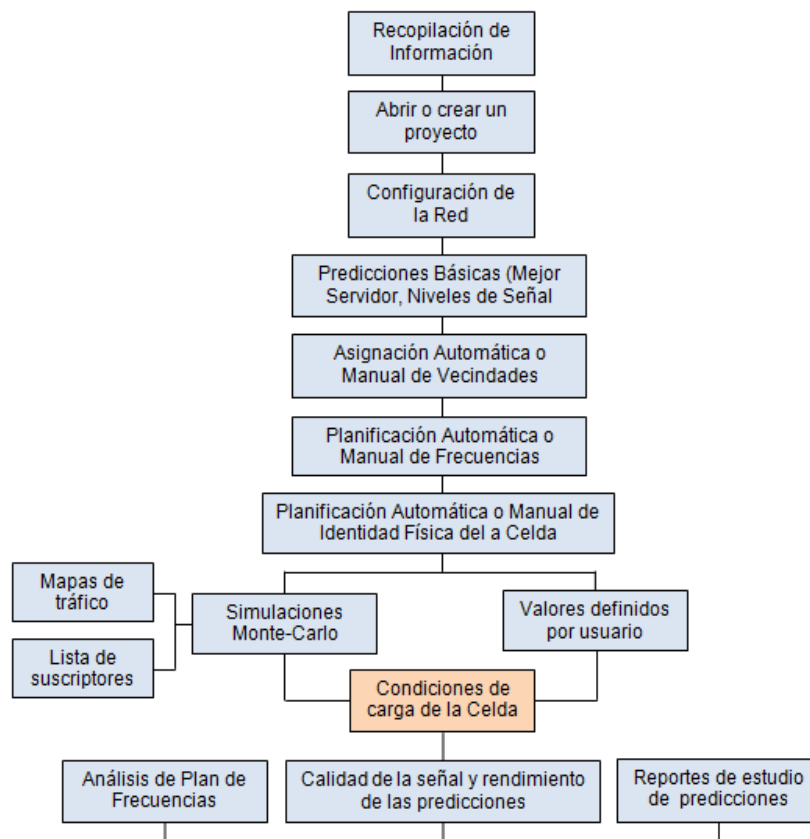


Figura 21: Diagrama de Flujo de la planificación de una red LTE

Fuente: Adaptado de User Manual LTE, Forsk, 2011

A continuación se realiza la explicación del diagrama de flujo:

1. Para empezar con un proyecto es indispensable realizar la recopilación de información sobre cartografía de la zona en análisis, las bandas de frecuencia correspondientes a la tecnología y por ultimo parámetros técnicos que intervienen en la configuración de las celdas.
2. Atoll presenta plantillas (templates) de las diferentes tecnologías a modelar, se elige la plantilla de LTE, la cual mantiene parámetros que involucran la tecnología elegida que en nuestro caso es la tecnología LTE.
3. El siguiente paso es la configuración de la red esto incluye la adición de los mapas digitales, elección del modelo de propagación, creación o adición de nuevos elementos tales como sitios, transmisores y por último se configura los parámetros técnicos que tienen que ver con la tecnología LTE.
4. Realizada la configuración de la red, se procede con las predicciones, este tipo de predicciones no tienen en consideración datos de tráfico, nos permite visualizar la cobertura de cada sitio a nivel de señal, mejor servidor y el solapamiento existente entre los sitios involucrado, las predicciones son el resultado de la configuración inicial de la red.
5. Como siguiente paso es la planificación y asignación de adyacencias (vecindades) para cada sector, seguido se realiza la planificación de frecuencias esto permite reducir la interferencia en la red y por último la asignación de los identificadores físicos (PCI) de la red. Atoll permite realizar los pasos anteriores de forma manual o automática.
6. Las predicciones de cobertura que dependen de datos de tráfico se pueden crear a partir de simulaciones Monte Carlo o por configuraciones de carga definidas por el usuario. Este tipo de predicciones se basan en las interferencias presentes en la red, la calidad de la señal y el rendimiento de las celdas.
7. El último paso se refiere al análisis de los resultados obtenidos de las

predicciones a nivel de señal y calidad, si es el caso, se realiza cambios en los parámetros iniciales o en el plan de frecuencias para asegurar el buen funcionamiento de la red.

Atoll permite realizar dos tipos de predicciones: la primera que se enfoca en niveles de señal que no depende de datos de tráfico, mientras que la segunda su objetivo principal es la calidad de señal.

Las *predicciones de cobertura* indican la huella de propagación de señal de referencia del enlace descendente, permitiendo obtener la huella de cobertura de la red. (Forks, 2011, pág. 234)

- ***Predicción de Cobertura por nivel de señal - Coverage Prediction by Signal Level:*** permite predecir la cobertura de una zona en particular según la intensidad de señal del transmisor en cada pixel del mapa. (Forks, 2011, pág.235)
- ***Predicción de Cobertura por transmisor - Coverage Prediction by transmitter:*** permite predecir la cobertura de la zona por transmisor en cada pixel del mapa. (Forks, 2011, pág.236)
- ***Predicción de Cobertura en zonas de solapamientos - Coverage Prediction on Overlapping Zones:*** permite observar la cobertura de dos o más transmisores. (Forks, 2011, pág.237)

Las *predicciones por calidad de señal* analizan el servicio dentro del área de cobertura y a su vez la capacidad de cada celda de la red y dependen de los valores de tráfico establecidos en la configuración o calculados mediante simulaciones Monte – Carlo que calcula la relación portadora e interferencia más ruido $C/(I+N)$, en cada pixel del mapa. (Forks, 2011, pág. 247-248)

- ***Cobertura por $C(I+N)$ - Coverage by $C/(I+N)$ level:*** permite calcular la interferencia co-canal y la interferencia de canal adyacente. (Forks, 2011, pág.254)
- ***Área de Servicio Efectiva -Effective Service Area:*** permite calcular la zona donde un servicio realmente está disponible tanto en uplink y downlink. (Forks, 2011, pág.258)

- **Predicción de Cobertura por Rendimiento - Coverage Prediction by Throughput:** permite calcular y mostrar el rendimiento de canales y la capacidad de la celda basados en los niveles de $C/(I+N)$ y los radio bearers por cada pixel del mapa. (Forks, 2011, pág.262)

3.2.3 Elección de parámetros iniciales

A continuación se describe los parámetros necesarios para iniciar con la modelación de la red en la herramienta de planificación Atoll, estos parámetros afectan notablemente el funcionamiento y resultado final del diseño. Se debe recalcar que varios de los parámetros fueron descritos en el capítulo II.

3.2.3.1 Banda de Frecuencia

En el capítulo II se describe las bandas de operación asignadas a la tecnología LTE, para el presente proyecto se elige la banda AWS (Advanced Wireless Service) de acuerdo a la resolución TEL-804-29-contal-2012 donde se especifica la banda y ancho de banda a utilizar para el despliegue de la red LTE en el Ecuador. El utilizar una frecuencia alta involucra mayor número de sitios, por concerniente mayor costo pero una buena condición de propagación en los exteriores. En la tabla 6 se ve los valores de la banda 4 asignados a la tecnología LTE en Ecuador.

Tabla 6: Banda 4 tecnología LTE

Banda	Modo de duplexion	Ancho de Banda (MHz)	Enlace Ascendente (MHz)	Enlace Descendente (MHz)
4 (AWS)	FDD	40	1710 - 1730	2110 - 2130

Fuente: Adaptado de <http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/espectro-radioelectrico/>, Plan Nacional de Frecuencias, CONATEL. 2014

Como se explicó anteriormente el gobierno asignó 40 MHz para el despliegue de la red LTE, para el presente proyecto se considera un ancho de banda de 10 MHz para enlaces de bajada y subida. Como se conoce LTE se somete a anchos de banda flexibles que pueden aumentar gradualmente.

Se elige la canalización de 10 MHz enfocándonos en la realidad de las operadoras móviles que se encuentran en el Ecuador, por ejemplo la operadora con mayor

penetración en el Ecuador cuenta con un ancho de banda de aproximadamente 17 MHz para trabajar en las dos tecnologías (GSM y UMTS), es muy difícil pretender que el gobierno asigne mayor ancho de banda para el despliegue de la red a las operadoras restantes, y se debe considerar que mayor ancho de banda implica mayor costo al operador.

Se descarta los anchos de banda de 1.4 y 3 MHz debido a que estos tipos de canalizaciones desaprovechan los recursos y se ofrecería menor throughput que el que mantiene en la actualidad la tecnología UMTS, cabe mencionar que estos anchos de banda son utilizados para facilitar la migración de CDMA200 a LTE, mientras que con la canalización de 5 MHz su throughput mejoraría en aproximadamente el 10% en comparación con UMTS, cabe indicar que UMTS trabaja con un ancho de banda de 5 MHz.

Las canalizaciones de 15 y 20 MHz técnicamente son viables pero financieramente no, debido a que el costo del espectro se verá reflejado en el usuario y su precio dejaría de ser competitivo. No se ve viable invertir demasiado si se está iniciando en el despliegue de la red, cuando la red tenga la madurez adecuada, esto conlleva a tener una penetración de aproximadamente el 50% en comparación con las tecnologías anteriores su utilidad y costo son factibles.

3.2.3.2 Zona de análisis

La zona en análisis es la parroquia Ñaquito considerada como urbana, su elección se enfoca en la topología del terreno y por encontrarse en el centro financiero y empresarial de la ciudad de Quito, es una de las parroquias con un alto porcentaje de población que puede acceder al servicio, esto permite obtener resultados coherentes en el diseño. De acuerdo al censo realizado por el INEC en el 2010 la parroquia Ñaquito cuenta con 44.149 habitantes y posee una superficie de 7.17 km² y limita al norte con la Parroquia Jipijapa, al sur con la Parroquia Mariscal Sucre, al este con el Parque Metropolitano y al oeste con las Parroquias Rumipamba y Belisario Quevedo. En la gráfica siguiente se observa la ubicación exacta de la parroquia Ñaquito dentro del Distrito Metropolitano.

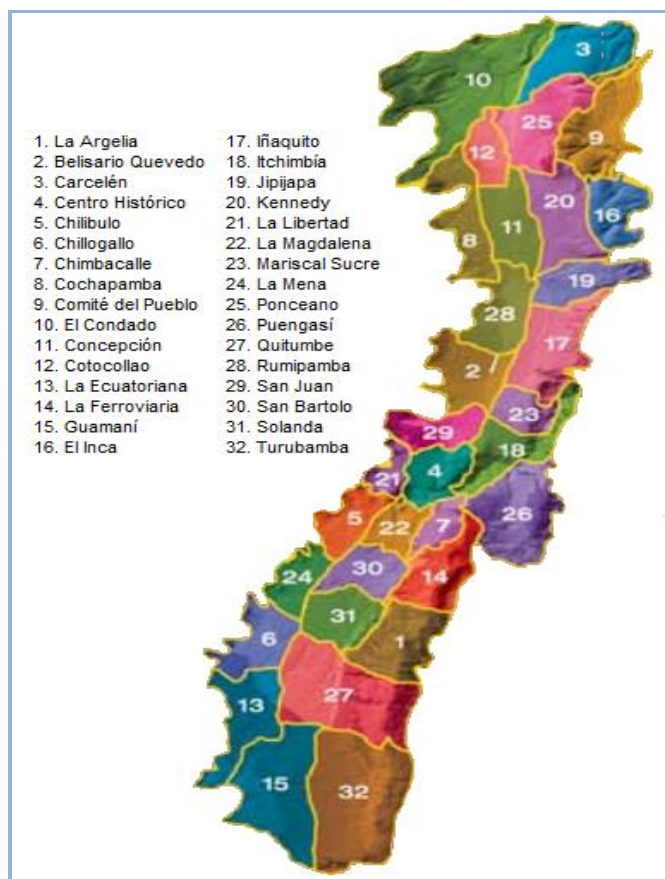


Figura 22: Mapa de las parroquias urbanas del Distrito Metropolitano de Quito

Fuente: <http://www.quito.com.ec/parroquias/>, Mapa Politico Parroquial, DMQ, 2014

3.2.3.3 Modelo de Propagación

Se elige el modelo Standard Propagation Model (SPM) que permite realizar ajustes antes de la planificación de la red permitiendo obtener mejores resultados en el diseño. El modelo SPM se lo calibra mediante pruebas (Drive Test) realizadas en campo, el proceso de calibración consiste en realizar un drive test (DT) en la zona de interés recolectando información de los niveles de señal presente en la parroquia Iñaquito, con anterioridad se realiza la ruta a seguir. Para el recorrido se utiliza un teléfono, software de DT y vehículo. En la figura 23 muestra el recorrido con los niveles de señal recolectados en la parroquia de Iñaquito.

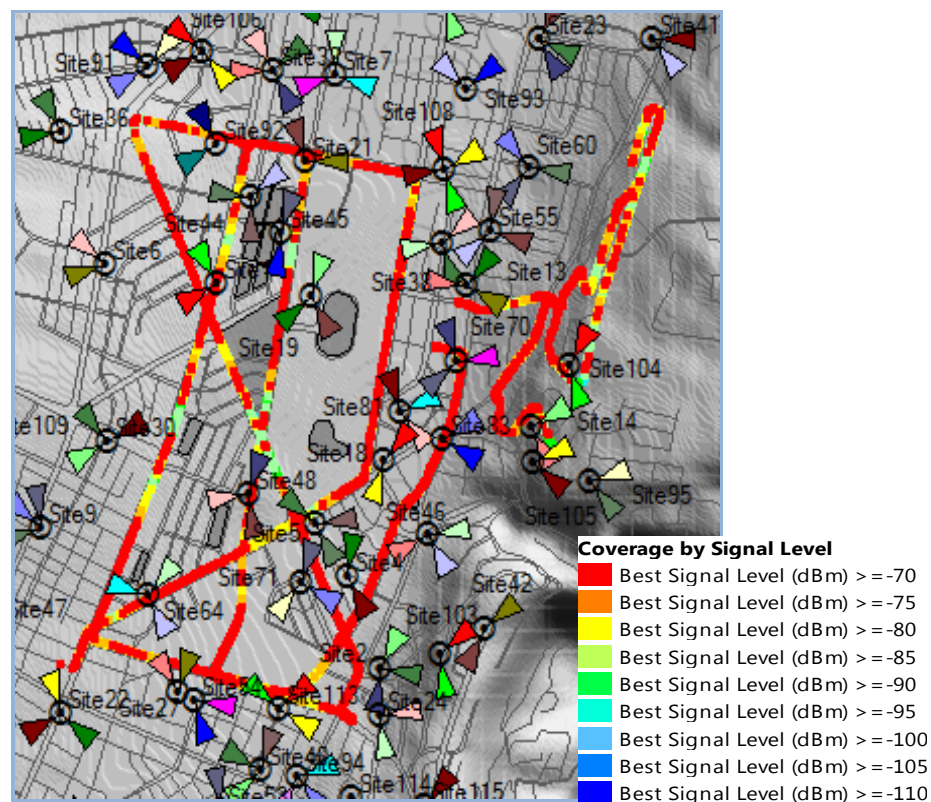


Figura 23: Ruta y niveles de señal de las pruebas en campo

Autor: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos en las pruebas son ingresados en la herramienta de planificación Atoll, donde se elige el modelo SPM y se establece los valores por defecto de K1 – K6, para después aplicar el modelo para la predicción, Atoll realiza una comparación entre los resultados de los datos de la prueba realizada en campo y los de la predicción varias veces hasta que la desviación media de ellos sea lo suficientemente baja. En Atoll el proceso de calibración se lo realiza de forma automática, lo que significa que es transparente para el usuario.

Tabla 7: Resultados Clutter

Morfología	K1	K2	K3	K4	K5	K6
Urbano	18.7	41.51	5.83	0.7	-6.55	0

Autor: Elaboración Propia

La tabla 7 muestra los resultados obtenidos después de la calibración del modelo de propagación.

3.2.3.4 Mapas Digitales

Se utiliza diferentes tipos de datos geográficos en el desarrollo del proyecto como por ejemplo: el Modelo digital del terreno (DTM), Clases de suelos, altura del suelo, mapas de vías, ríos, carreteras, a excepción de los mapas de vías, los datos geográficos son utilizados en el cálculo de propagación de la señal, para el presente trabajo se utiliza mapas con una resolución de 5 metros.

El modelo digital de terreno (DTM) describe la elevación del terreno sobre el nivel del mar. El archivo de geo clase describe la cobertura del suelo (urbana, áreas verdes, etc) y la altura del Clutter describe la altitud en el modelo digital de terreno con una altura por pixel. (Forks, 2011, pág. 110)

3.3 Diseño de la red de acceso para la parroquia Iñaquito utilizando la herramienta de planificación Atoll.

El objetivo del diseño de una red móvil es elegir adecuadamente la ubicación de las estaciones base y la asignación de identificadores de celda que eviten la interferencia y proporcione la QoS para los usuarios.

Para la planificación de la red se toma como guía el diagrama de flujo descrito en la figura 22 en la sección de la elección de la herramienta de planificación. Para iniciar se describe las características técnicas asumidas anteriormente para el diseño de la red:

Tabla 8: Características técnicas de los eNB y UE

Datos	Descripción
eNodoB	
Banda de Operación	AWS
Método de duplexión	FDD
Potencia de TX (dB)	43 dBm
Ancho de banda (MHz)	10 MHz
Perdida por cables (feeder)	0,5 dB
Ganancia de la antena	18,5 dBi
Factor de Ruido	2 dB
Perdida del Cable	0.5 dB
Reusó de frecuencia	3
Equipo de Usuario Estándar	
Potencia de TX	23 dBm (USB)
Factor de ruido	7 dB
Altura del receptor	1,5 m
Ganancia de la antena	0 dBi

Autor: Elaboración Propia

En la parte de anexos se encuentra las características técnicas de la antena y eNB que se eligió para el presente trabajo.

3.3.1 Configuración de la Red en la herramienta de Planificación Atoll

Se inicia creando un nuevo proyecto de tipo LTE, se elige el sistema de coordenadas WGS84 / UMTS zona 17S correspondiente a la zona de Ecuador, seguido se realiza la importación de los mapas digitales correspondientes a la ciudad de Quito, los mapas tiene una resolución 5 metros, una mayor resolución permite mejores resultados en las predicciones, una vez realizada la importación de los mapas digitales, Clutter y carreteras del área de estudio, se continúa con la configuración de parámetros globales del sistema LTE. Como se mencionó anteriormente la banda de frecuencia a utilizar es la banda 4 de LTE con una canalización de 10 MHz con la técnica de duplexión FDD, la configuración de la banda de operación queda de la siguiente manera:

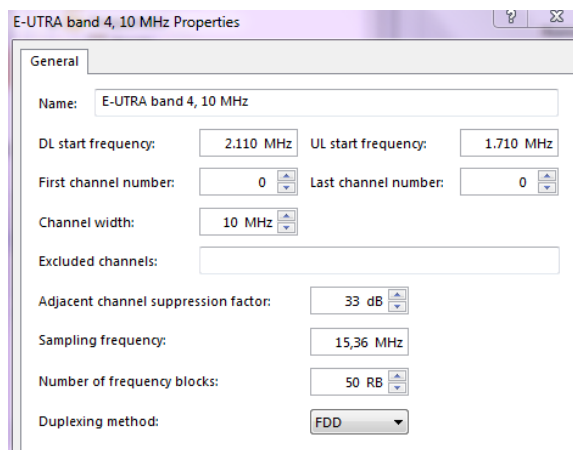


Figura 24: Configuración de la Banda de Operación en Atoll

Autor: Elaboración Propia

Como siguiente paso se selecciona el modelo de propagación para futuras predicciones, el modelo elegido es Standard Propagation model (SPM), a continuación la figura 25 presenta la configuración del parámetro K.

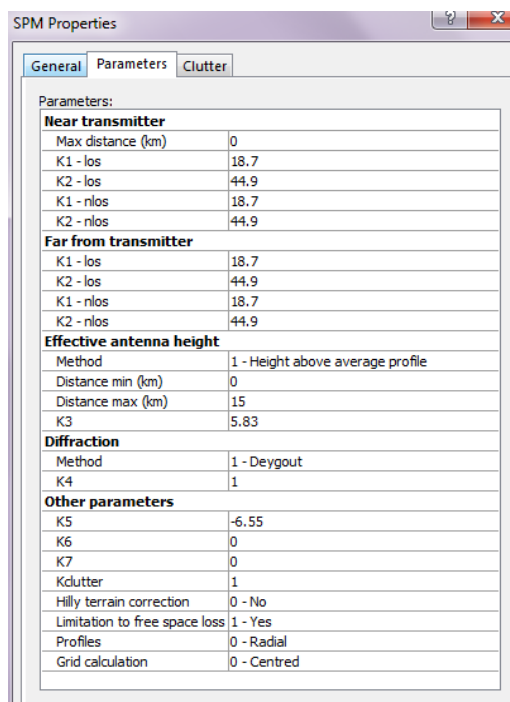


Figura 25: Configuración del Modelo SPM

Autor: Elaboración Propia

La selección de la antena para determinar la calidad de la red, Atoll presenta por defecto una variedad de antenas, se optó por trabajar con la antena que tiene ganancia de 18.5

dBi, polarización cruzada (+/- 45°), y el rango de frecuencia correspondiente a la banda 4.

Para la ubicación y configuración de los eNBs, Atoll necesita información sobre la posición de los eNBs, transmisores (información física del eNB- sectores) y finalmente las celdas (configuración lógica) como se muestra en la tabla 10. Todos los eNB son configurados de acuerdo a la plantilla ejemplo.

Tabla 9: Ejemplo de la Plantilla LTE

GENERAL	Coordenadas	Longitud	Latitud
		-78.00	-0.10
	Número de sectores		3
	Identificador Físico de la Celda		0
	Antena		742266
	Modelo de Propagación		SPM
	Altura (m)		30
	Azimuth (°)		0
	Tilt Mecánico (°)		0
	Número de Puertos de la antena TX		1
Número de Puertos de la antena RX		1	
Resolución (m)		10	
TRANSMISOR	Equipo TMA		NA
	Feeder		Feeder 1/2"
	Equipo TX		Default Equipment
	Altura Feeder TX (m)		10
	Altura Feeder RX (m)		10
	Pérdida de TX (dB)		1,53
	Pérdida de RX(dB)		1,53
Figura ruido (dB)		2	
LTE	Maxima Potencia (dBm)		43
	Banda de Frecuencia		E-UTRA band 4, 10 MHz
	Equipo RX		Modem
	Scheduler		Proportional Fair
	Carga de Tráfico (DL) (%)		50
	Carga de Tráfico (UL) (%)		50
	Max Carga de Tráfico (UL) (%)		100
	Max Carga de Tráfico (DL) (%)		100
VECINDADES	Inter-technology UL		32
	Inter-technology DL		32

Autor: Elaboración Propia

Se considera feeders de 1/2" con una distancia de 10 metros para todos los sitios, los

feeders conectan a las RRU con las antenas, considera este valor por la ubicación de los equipos que serán instalados en las terrazas o adosados a las paredes.

Atoll calcula la calidad de la señal basándose en parámetros como bearers, servicios, equipos de usuario y el perfil de usuario los cuales pueden ser modificados.

En Atoll los **Radio Bearers** llevan los datos de enlace ascendente y descendente, un radio bearers es la combinación de modulación y esquema de codificación (MCS) con su respectiva eficiencia espectral. Los Bearers soportan la transferencia de datos de los diferentes servicios que la red puede ofrecer. La siguiente tabla muestra todos los radio bearers disponibles en Atoll.

Tabla 10: Modulaciones y Códigos

Bearers	Nombre	Modulación	Canal Coding Rate	Bearer Efficiency (bits/symbol)
1	1/12QPSK	QPSK	0,076172	0,1524
2	1/9QPSK	QPSK	0,117189	0,2345
3	1/6QPSK	QPSK	0,188476	0,378
4	1/3QPSK	QPSK	0,300782	0,6017
5	1/2QPSK	QPSK	0,43847	0,878
6	3/5QPSK	QPSK	0,587892	1,1759
7	1/3 16QAM	16QAM	0,369142	1,4767
8	1/2 16QAM	16QAM	0,478517	1,9142
9	3/5 16QAM	16QAM	0,601562	2,4064
10	1/2 64QAM	64QAM	0,455079	2,7306
11	1/2 64QAM	64QAM	0,553712	3,3224
12	3/5 64QAM	64QAM	0,650392	3,9025
13	3/4 64QAM	64QAM	0,753905	4,5235
14	5/6 64QAM	64QAM	0,852538	5,1153
15	11/12 64QAM	64QAM	0,925782	5,5548

Autor: Elaboración Propia

El parámetro más importante de un bearers es su eficiencia, que es el número de bits de datos útiles que el bearers puede transferir en un símbolo de modulación (Resource Element) de la trama de LTE. Mientras más cerca el usuario se encuentre del eNB la relación señal a interferencia a ruido (SINR) es más alto y se utiliza modulaciones como 16QAM y 64 QAM y mientras se va alejando de la estación base la relación señal a ruido baja y necesita una modulación más robusta como QPSK. La asignación de los

bearers o portadores se la realiza de manera dinámica empleando AMC.

Para las predicciones de calidad es necesario establecer una carga de tráfico, los valores elegidos permiten a todos los usuarios tener servicio y acceso a la red. Cabe recalcar que mientras mayor sea la demanda menor son los usuarios que acceden a la red, se elige una carga de tráfico baja porque se está iniciando el despliegue de la red LTE.

Tabla 11: *Parámetros de tráfico*

Min Throughput Demanda (kbps)	256
Sesión / hora	0.3
Tipo de movilidad	Peatonal (pedestrian) 3 km/h

Autor: Elaboración Propia

En la selección de los eNB se utiliza la base de datos de la red 3G de la operadora A (el nombre de la operado es confidencial), la base contiene información sobre el posicionamiento de las estaciones base (Coordenadas), azimut, tilt (eléctrico y mecánico) y finalmente la altura a la que van las antenas. Se elige estaciones que se encuentran fuera del polígono porque intervienen en la zona de análisis, a continuación se presenta la distribución de los eNBs en la parroquia de Iñaquito (polígono).

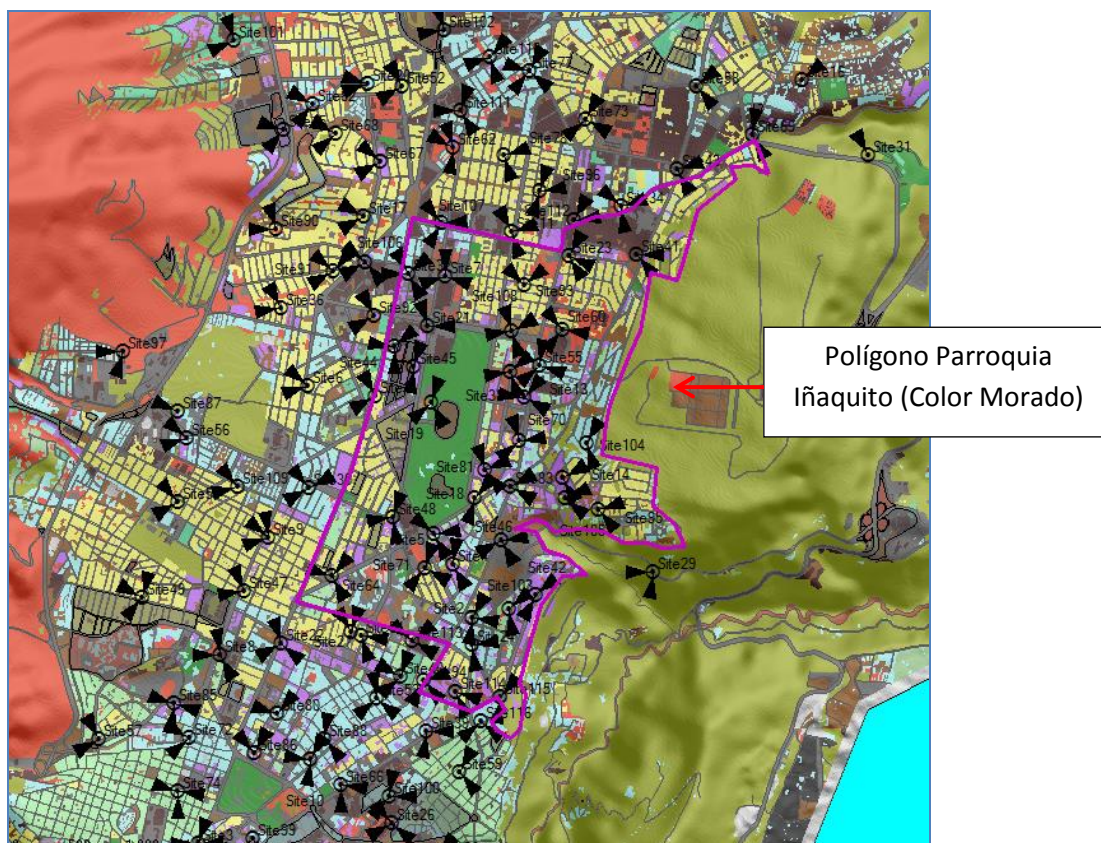


Figura 26: Distribución de las Estaciones base en la parroquia de Iñaquito

Autor: Elaboración Propia

Una vez realizado el diseño preliminar en la herramienta de planificación Atoll, se realiza las predicciones de cobertura a nivel de señal para validar el diseño, si el diseño no cumple con las condiciones de cobertura es necesario realizar cambios o modificaciones según sea el caso que permita alcanzar el objetivo de cobertura.

3.4 Validación del diseño de la red de acceso mediante predicciones realizadas en la herramienta de planificación Atoll

La herramienta de planificación Atoll permite predecir el comportamiento de la red LTE en la zona seleccionada. Para realizar las predicciones y simulaciones se define el área de cálculo mediante *Computation Zone*, esta opción permite realizar el análisis solo en la zona de interés y permite reducir el tiempo de cálculo. La figura 27 muestra la distribución de las estaciones base dentro del polígono correspondiente a la parroquia de Iñaquito; cabe indicar que cualquier eNB que tenga influencia sobre el área seleccionada será tomado en cuenta en el cálculo aunque se encuentre fuera del polígono.

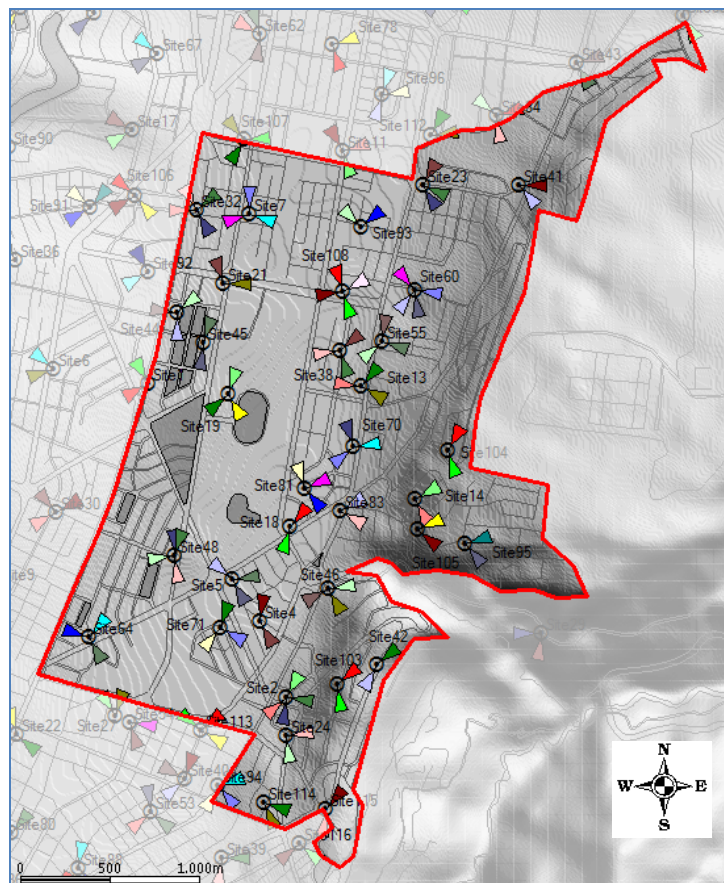


Figura 27: Distribución de los eNodeB dentro del polígono – Computation Zone

Autor: Elaboración Propia

Para verificar la cobertura en la zona de análisis se realizan tres tipos de predicciones con las siguientes características:

Tabla 12: *Parámetros configurados a nivel de Cobertura*

Ítem	Tipo de Predicción	Condiciones		
		Servidor	Shadowing	Nivel de Señal
1	Niveles de Señal	All		
2	Por Transmisor	Best Signal	95%	≥ -120 dBm
3	Zona de Solapamiento			

Autor: Elaboración Propia

Las predicciones de cobertura por niveles de señal debe cumplir con el mínimo del 95% del área de cobertura con niveles iguales o mayores a -100dBm, esto determina y asegura un buen diseño de la red LTE. (AT&T Mobility Team, 2010, pág. 11)

Las predicciones por nivel de señal realizan cálculos sin datos de tráfico, lo que se analiza es la configuración inicial de la red mediante los patrones de propagación. Las predicciones que intervienen en el estudio nos permiten analizar la zona de cobertura por intensidad de señal emitidos por los transmisores, la cobertura de los transmisores dominantes en un área determinada y las áreas donde existen varios transmisores. La figura 28 muestra la cantidad de potencia que tiene cada pixel del mapa, discriminando a que transmisor pertenece esa potencia, con este tipo de predicciones es posible visualizar las zonas donde no existe señal o los niveles son muy bajos.

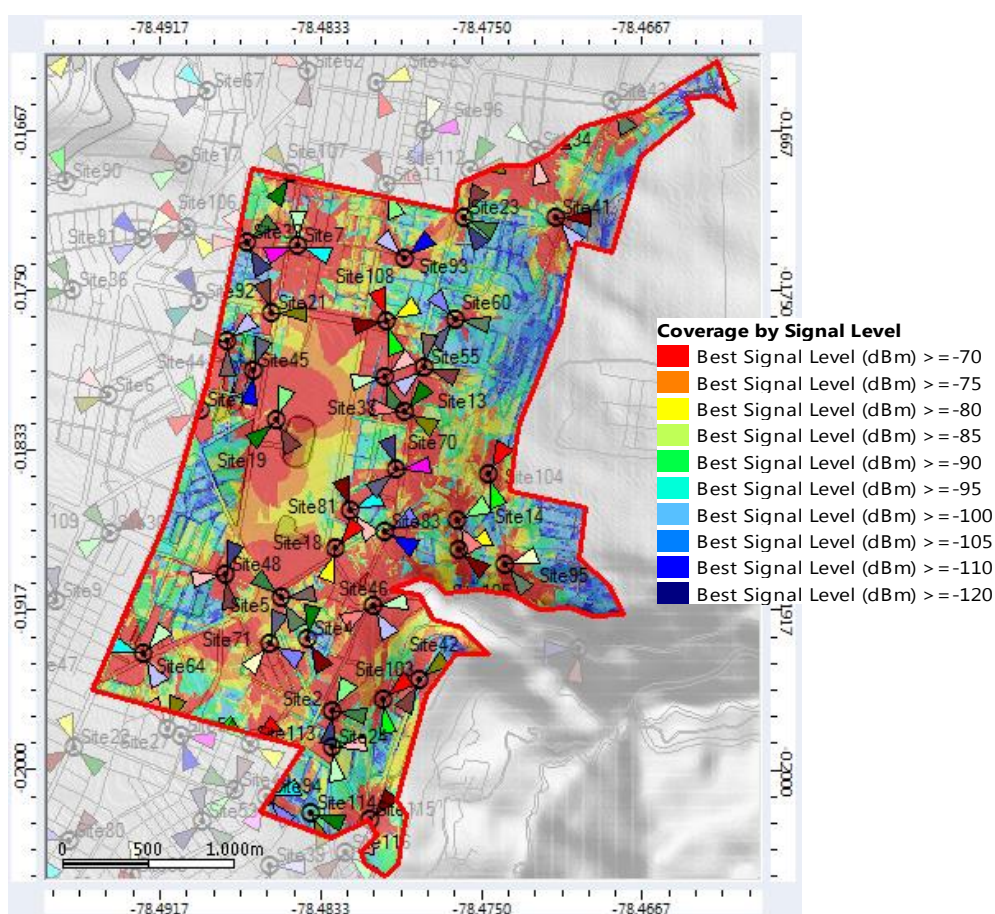


Figura 28: Predicción de Cobertura a nivel de señal

Autor: Elaboración Propia

La leyenda indica el rango de la propagación de la señal, cuando la señal se tiende a rojo se dice que la señal es muy buena y viceversa. Como se observa en el histograma se tiene una cobertura con niveles muy buenos en la mayoría del área de estudio, aproximadamente el 91,12% de las muestras se encuentran en un rango superior a -100dBm, son valores óptimos para el funcionamiento de la red LTE.

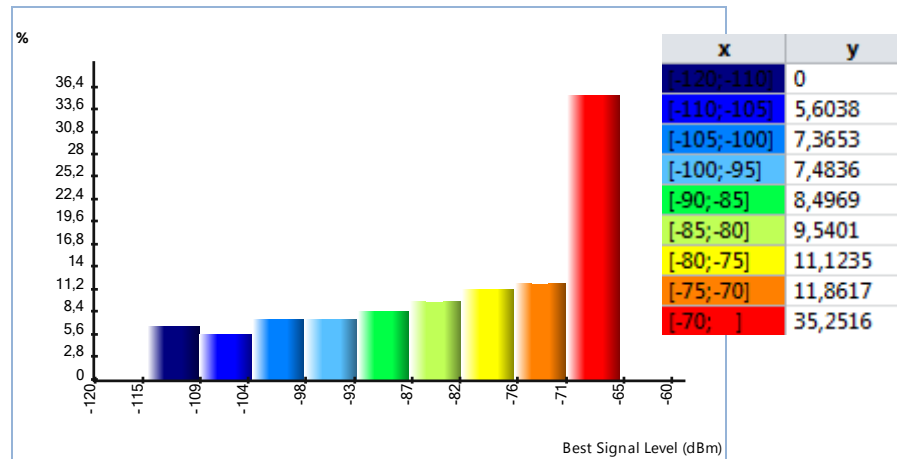
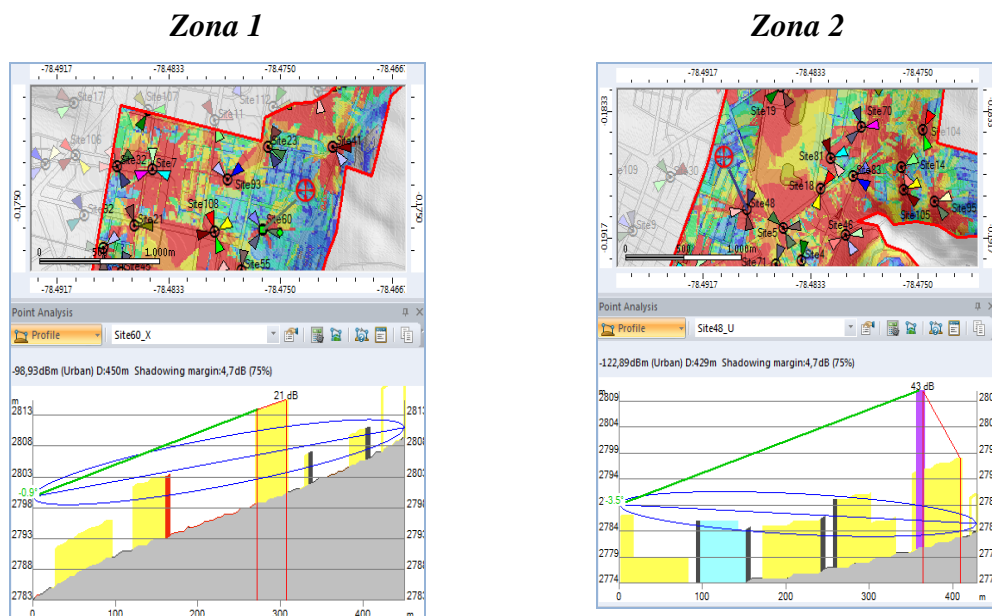


Figura 29: Histograma sobre los Niveles de señal

Autor: Elaboración Propia

La predicción de cobertura muestra zonas con niveles por debajo de -100 dBm, donde no se asegura que la red LTE funcione correctamente, se realiza un análisis de las zonas con bajos niveles de señal y se observa que las áreas se encuentran en zonas altas y con obstáculos que impiden la propagación de la señal, existe dos posibilidades para mejorar las áreas degradadas, realizando ajustes de a nivel físico para el control de accesos lejanos o la adición de una nueva estación base en la zona afectada.

La figura 30 muestra las zonas degradadas en la parroquia Iñaquito.



Zona 3

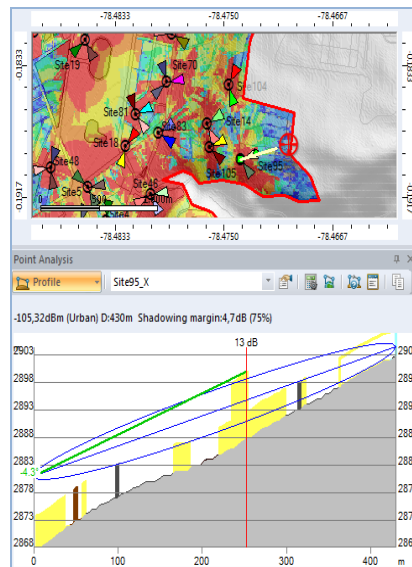


Figura 30: Zonas con bajos niveles de señal

Autor: Elaboración Propia

A continuación se realiza la predicción de cobertura de cada transmisor inherente en la zona de estudio para identificar la propagación de cada sector o transmisor, esta predicción nos permite controlar la propagación de las estaciones y evitar que interfieran con otras. La parte sombreada indica la diferencia de señal que tiene cada transmisor con respecto al otro, se utiliza un margen de 4 dBm.

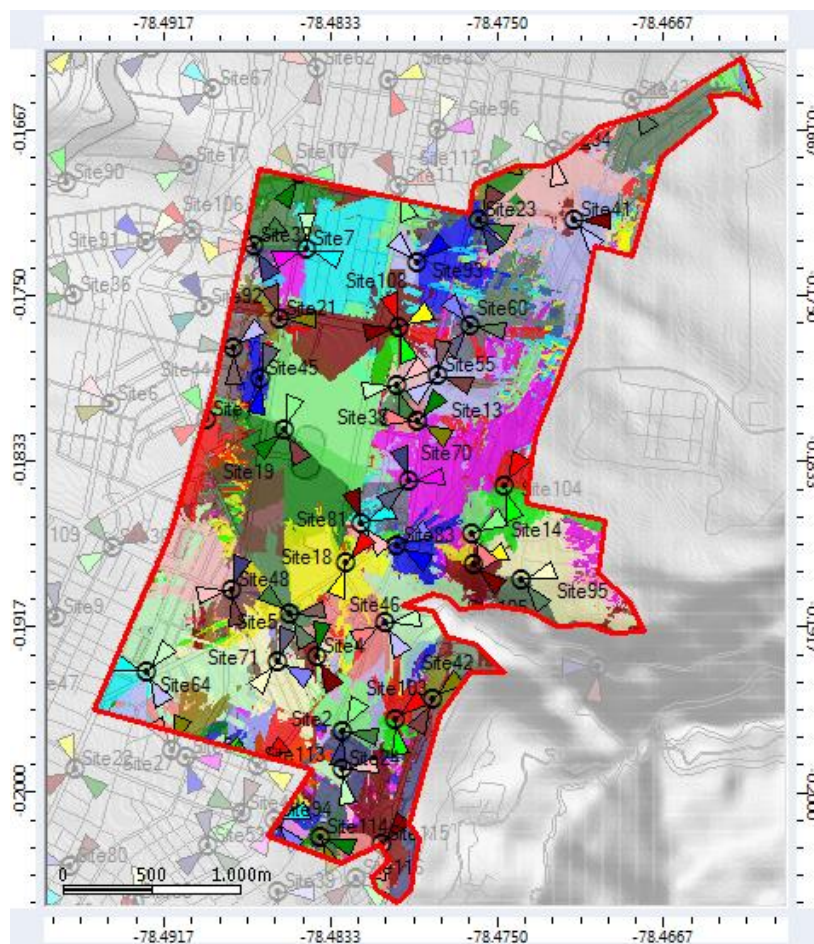


Figura 31: Predicción de Cobertura por transmisor

Autor: Elaboración Propia

Por último, la figura 32 presenta la predicción por solapamiento, que nos indica el número de transmisores que llegan a una determinada zona, este criterio nos ayuda a establecer la dominancia del transmisor y visualizar zonas degradadas por la existencia de varios servidores. Lo que realiza Atoll es asignar a cada pixel del mapa un color que indica el número de transmisor que proporciona señal en ese pixel. De acuerdo a la leyenda, el color azul indica que existe un transmisor dominante en la zona y mientras van cambiando los colores aumenta el número de transmisores. Mientras mayor sea el número de servidores mayor es la interferencia, este tipo de problemas son causados por accesos lejanos, para evitar y minimizar zonas con solapamiento se debe realizar cambios físicos (tilt, altura o azimut) que serán realizados en la pre optimización.

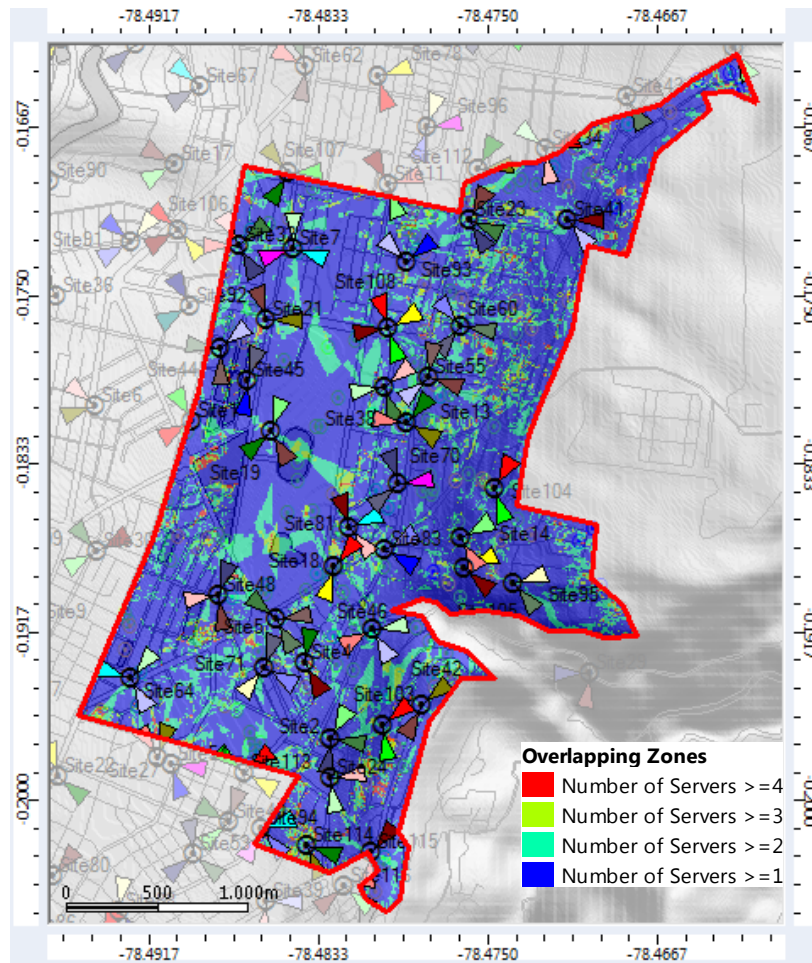


Figura 32: Zona de Solapamiento

Autor: Elaboración Propia

Las predicciones de solapamiento con margen de 4 dB debe cumplir con las siguientes condiciones: (AT&T Mobility Team, 2010, pág.12)

- % del área con 4 o más servidores debe ser $< 2\%$
- % del área con 2 o más servidores debe ser $< 30\%$

Las zonas que mantienen solapamiento son las zonas 1, 2 y 3 que no tienen buenos niveles de señal, la presencia de varios servidores en dichas zonas provoca una mala calidad en la señal. El histograma muestra que aproximadamente el 74% tiene entre 1 y 2 servidores dominantes, esto quiere decir que en el 74% del área existe señales de 1 o 2 transmisores, cumple con la condición.

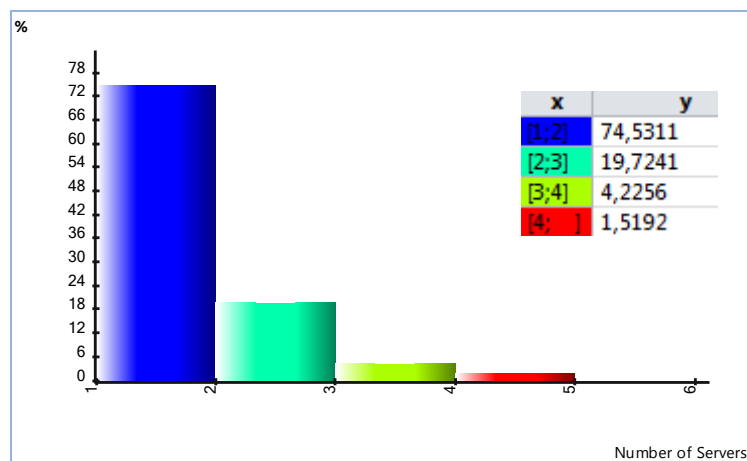


Figura 33: Histograma de Solapamiento

Autor: Elaboración Propia

Adicionalmente se realiza predicciones del canal físico para el enlace de bajada (downlink), específicamente el canal PDSCH (Physical Downlink Shared Channel). La predicción del canal físico para el enlace ascendente es similar al enlace descendente motivo por lo que no se realiza la predicción para el enlace ascendente.

La predicción del canal PDSCH muestra la cantidad de potencia de la señal transmitida, que tiene cada pixel, de acuerdo a la leyenda el color rojo indica mayor potencia, mientras que la tendencia al color azul indica menor potencia. Se elige el canal PDSCH porque es un canal que transporta datos de usuario y señalización de la red.

En el mapa se observa que la zona de Iñaquito mantiene en su mayoría un color celeste, es decir, que la mayor parte de la zona tiene niveles de potencia del canal PDSCH mayor a -90 dBm. Lo antes mencionado se confirma con el histograma adjunto que indica un aproximado del 96% de muestras en el área de interés que posee niveles de potencia mayores a -90dBm, estos son resultados favorables para el diseño de la red.

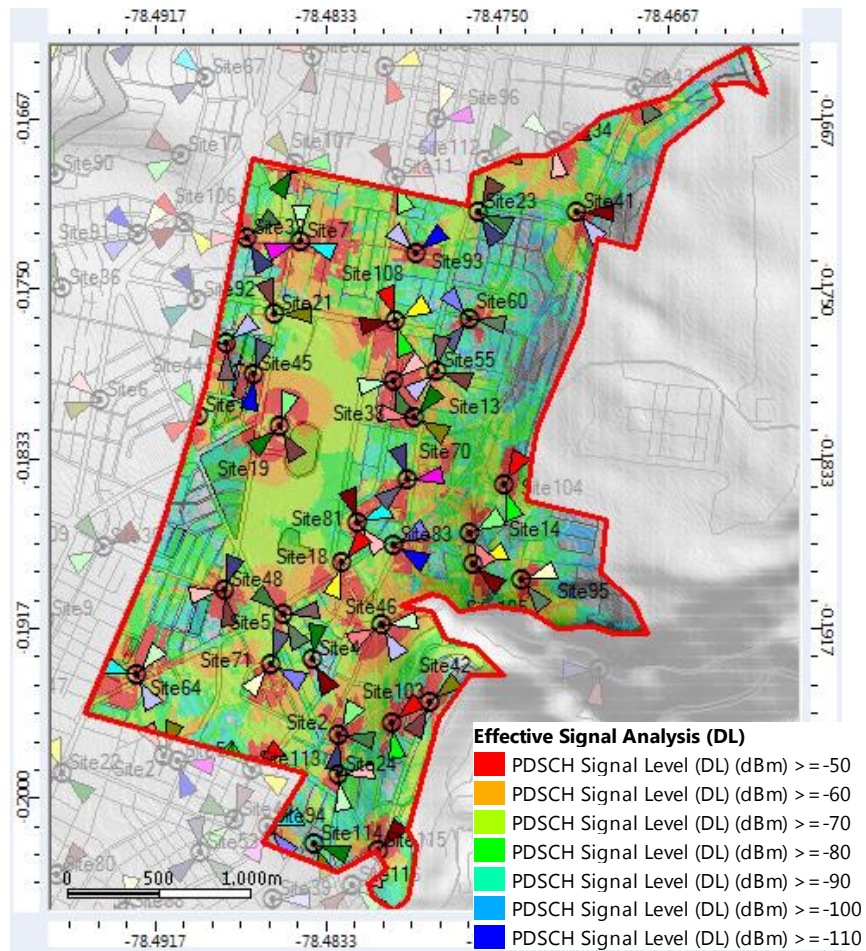


Figura 34: Predicción de Cobertura de potencia del canal PDSCH

Autor: Elaboración Propia

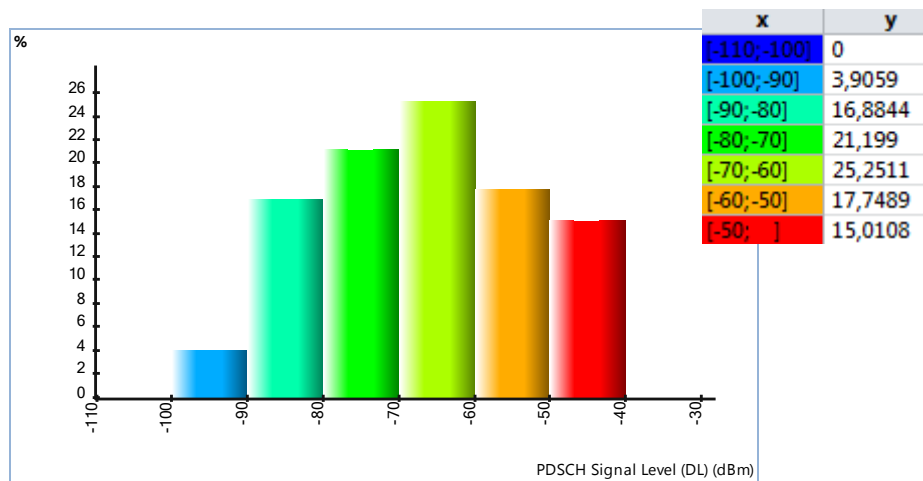


Figura 35: Histograma de Cobertura de potencia del canal PDSCH

Autor: Elaboración Propia

La predicción de la C/N del canal PDSCH, permite visualizar la relación portadora a ruido del canal, mientras más cerca de la estación se encuentre el usuario, el valor C/N

es más alto y en función de colores tiende hacia el color rojo.

Como se observa en la predicción, la zona de Ñaquito se encuentra cubierta por los colores verde, amarillo y rojo (áreas cercanas a las estaciones), mientras más cerca el usuario se encuentre de la estación mejor es la señal recibida. Las zonas donde no se tiene una buena percepción de la señal, son áreas que a nivel de cobertura son muy bajas y se encuentran por debajo de -100dBm . Lo antes mencionado se visualiza de mejor manera en el histograma que indica que aproximadamente el 50% de las muestras tiene valores de C/N iguales a 30dB y el 40% tiene valores de C/N mayores a 10dB , es decir que el 50% y 40% de la población recibe más señal que ruido respectivamente.

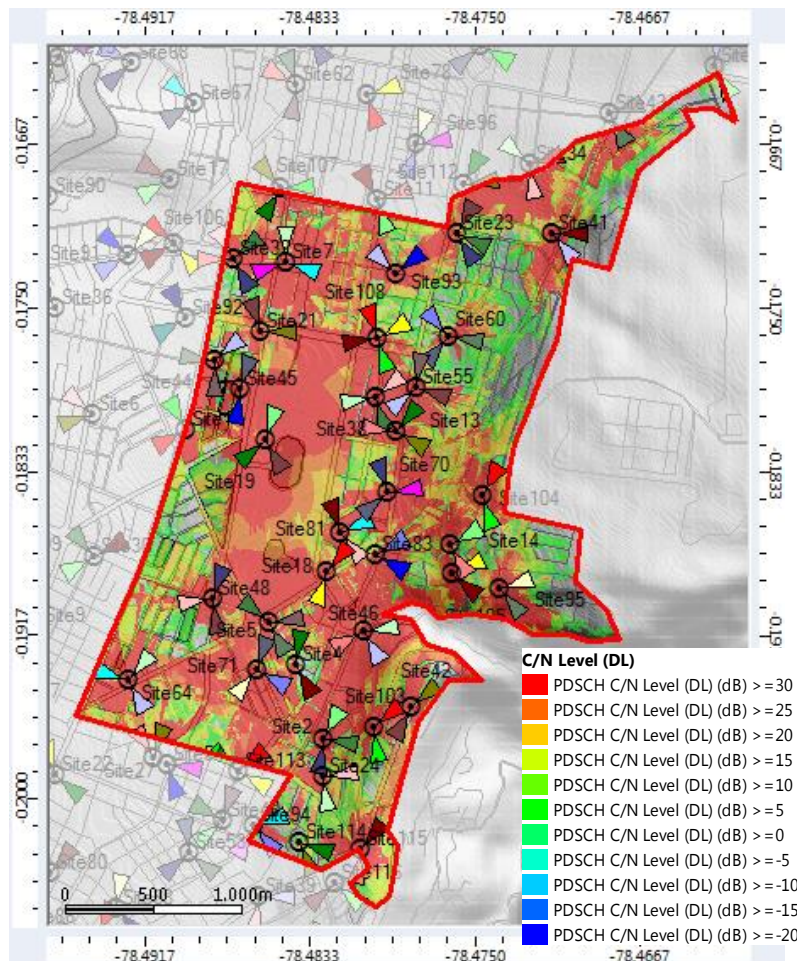


Figura 36: Predicción nivel C/N del canal PDSCH

Autor: Elaboración Propia

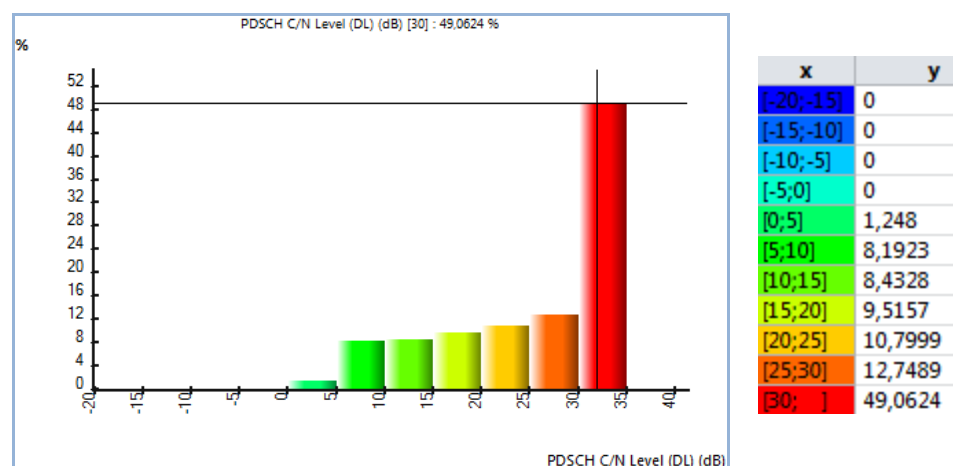


Figura 37: Histograma de Cobertura de potencia del canal PDSCH

Autor: Elaboración Propia

Como se observó en las predicciones de cobertura por nivel de señal existen zonas que mantienen bajos niveles, donde no se garantiza un buen servicio de la tecnología LTE. Para mejorar las zonas con poca cobertura es indispensable realizar cambios físicos en la configuración de las estaciones que se encuentran incluyentes en las zonas afectadas.

Para corregir las zonas con bajos niveles de señal se propone cambios a nivel de azimut, tilt mecánico y eléctrico; la siguiente tabla muestra las estadísticas de los cambios realizados. En la sección de anexos se adjunta los sitios y cambios realizados.

Tabla 13: Estadísticas de los cambios físicos

	Tilt Eléctrico	Tilt Mecánico	Azimut
Cantidad	10	19	37

Autor: Elaboración Propia

Los cambios realizados indican una mejora del 3% en la huella de cobertura es decir que se mejoró las muestras a partir de los -100 dBm, esto permite una buena percepción de la tecnología LTE. Las zonas de color azul son difícil de cubrir por encontrarse en escenarios como zonas altas o mantienen obstrucciones que impiden la propagación de la señal, para este tipo de problemas es indispensable pensar en soluciones indoor, que mejoran los niveles de señal en lugares específicos.

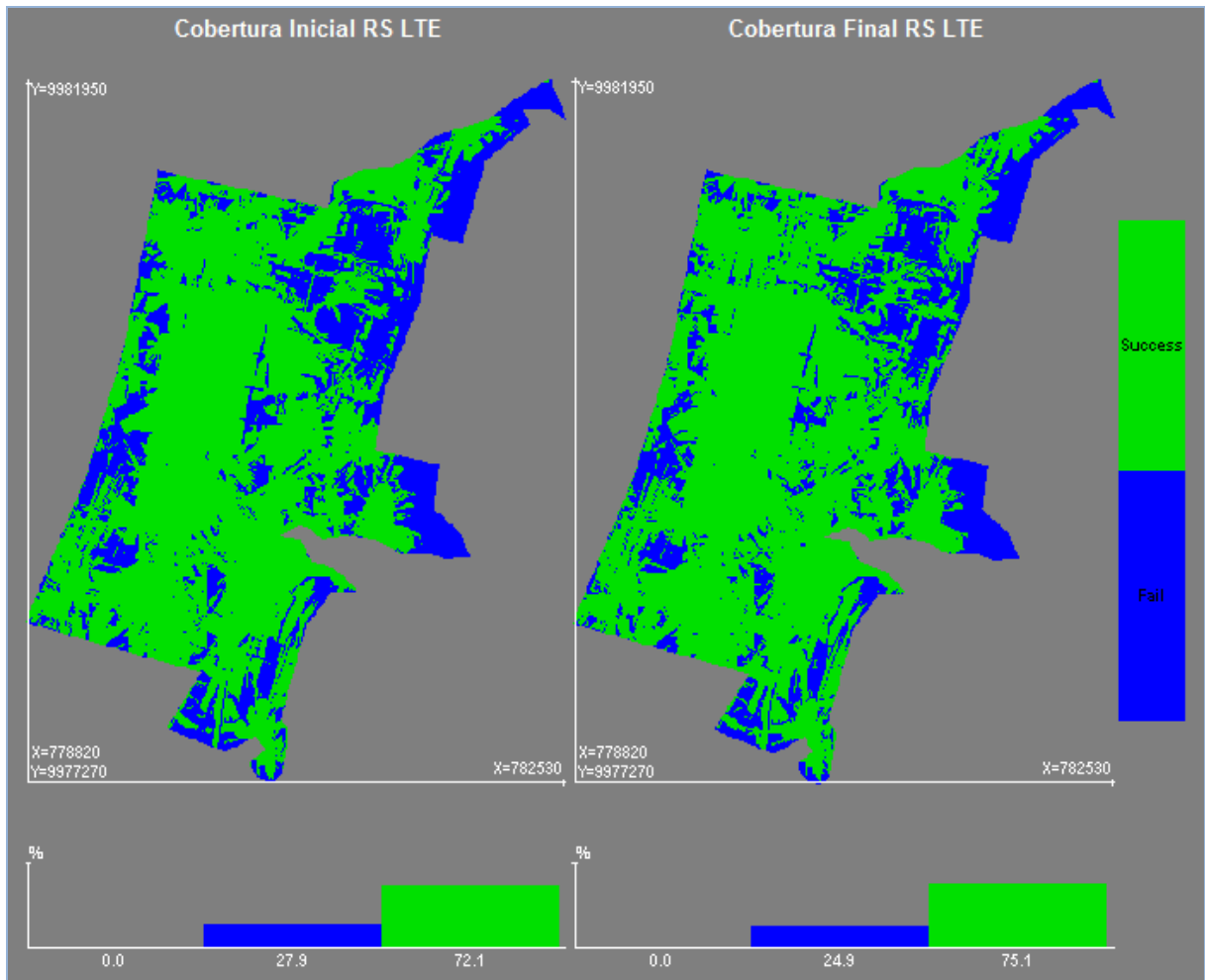


Figura 38: Comparación de Cobertura

Autor: Elaboración Propia

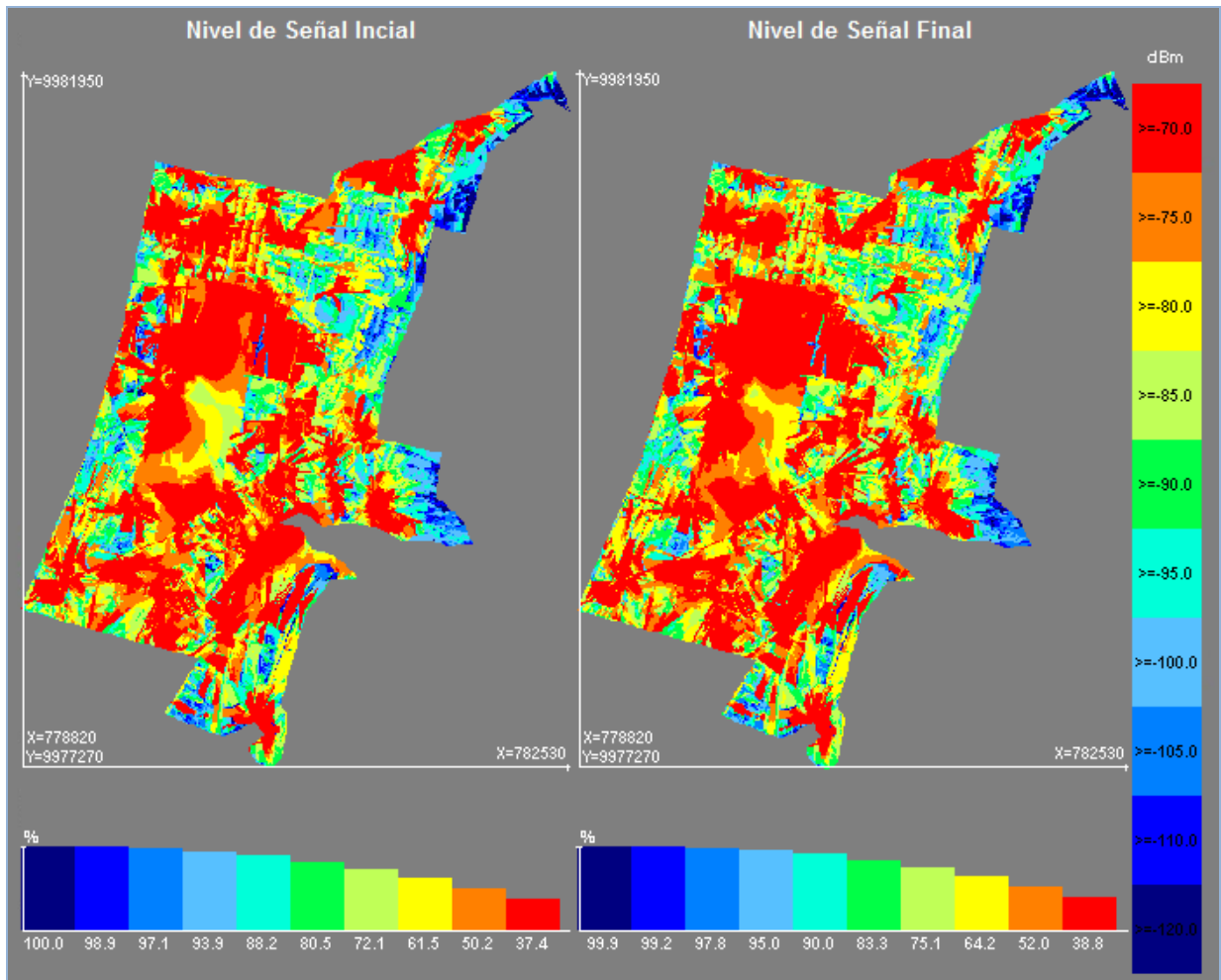


Figura 39: Comparación de Cobertura a nivel de Señal

Autor: Elaboración Propia

Con los cambios realizados se consigue mejorar la cobertura y asegurar un buen servicio. De acuerdo al reporte generado se tiene que el 94,8% de la zona mantiene niveles superiores a los -100dBm, es un indicativo que afirma que el diseño es viable.

Tabla 14: *Reporte de cobertura*

Nombre	Superficie (km ²)	% Superficie cubierta	% Computation Zone
Cobertura por Nivel de Señal	7,1637	100	99,9
Best Signal Level (dBm) >=-70	3,4267	47,8155	47,8
Best Signal Level (dBm) >=-75	4,2426	59,2004	59,2
Best Signal Level (dBm) >=-80	4,9382	68,9067	68,9
Best Signal Level (dBm) >=-85	5,5586	77,5637	77,5
Best Signal Level (dBm) >=-90	6,0494	84,4122	84,4
Best Signal Level (dBm) >=-95	6,4586	90,1221	90,1
Best Signal Level (dBm) >=-100	6,798	94,858	94,8
Best Signal Level (dBm) >=-105	6,9841	97,4548	97,4
Best Signal Level (dBm) >=-110	7,1003	99,0763	99
Best Signal Level (dBm) >=-120	7,1665	100	99,9

Autor: Elaboración Propia

Con la pre optimización se consiguió mejorar la condición de cobertura y se procede a realizar predicciones de calidad de señal que dependen del tráfico, este tipo de predicciones permiten estudiar la capacidad y funcionamiento de la red.

Para iniciar, se crea un mapa de tráfico, es decir, se dibuja un polígono con los diferentes tipos de escenarios que la zona presente, este paso se logra mediante los tipos de terrenos que se encuentran en el mapa de Clutter Classes. De acuerdo al tipo de terreno (Clutter Classes) la zona de Iñaquito se encuentra en una zona urbana, como se puede ver en la figura 40.

Al no poseer información sobre la carga de usuarios por cada sector y la densidad de usuarios involucrados en la zona de Iñaquito (información proporcionada por el operador), se considera los valores definidos por Atoll para cada escenario (environment).

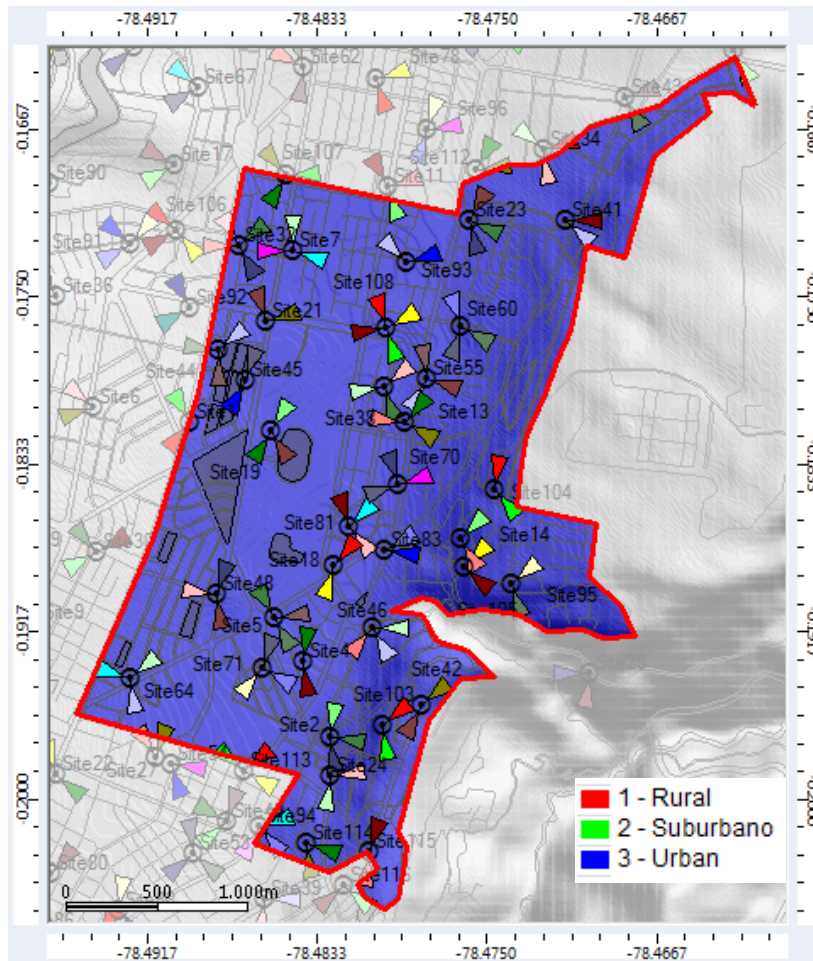


Figura 40: Entorno del Mapa de tráfico de la Parroquia de Iñaquito

Autor: Elaboración Propia

Para tener mejores resultados en las simulaciones, se realizan pasos adicionales como la asignación de adyacencias y planificación de identificadores de las celdas.

La asignación de adyacencias se la realiza de forma automática con la ayuda de *Automatic Allocation*, se establece un número máximo de 32 adyacencias por sector para adyacencias intra e intercelular, la distancia máxima es de 1000 metros, con un probabilidad de cobertura del 75% en el borde de la celda (Shadowing) y con un margen de histéresis de 5 dB y el 10% de solapamiento entre la zona de cobertura del sector dominante y la celda adyacente, estos parámetros son configurados para que Atoll lo reconozca a las celdas como vecinas, siempre y cuando cumplan con estas condiciones.

La planificación del identificador físico de la celda permite al UE identificar a cada celda con el objetivo de interpretar las señales emitidas por la estación base y que el UE

utiliza para establecer la calidad del canal. Se realiza la asignación del PCI de forma automática, tomando en consideración las adyacencias definidas anteriormente.

Realizado los pasos antes mencionados se ejecuta la simulación Monte Carlo llamado *Group 0*; Atoll lo que realiza en la simulación es una distribución de usuarios (móviles) que les asigna un tipo de movilidad, terminal y un servicio de acuerdo al perfil de usuario. La posición del terminal se establece de forma aleatoria.

El parámetro RSRQ mide la calidad de la señal y debe cumplir con la condición de carga, cuando se encuentre la carga al 50% y 100% el valor debe ser de -10dB y -15 dB respectivamente. (AT&T Mobility Team, 2010, pág. 12)

Cuando RSRQ tiende a valores altos, mejor es la calidad de señal y se asegura el servicio. En la figura 41 se observa que el mapa mantiene muestras de colores verde, amarillo y rojo (mejor calidad de señal), las simulaciones se realizan con la condición de carga al 100% para observar el desempeño de la red en casos extremos. El histograma muestra que aproximadamente el 76% del área tiene niveles superiores a -4.5dB, mientras el UE se aleja de la estación base, la calidad de señal decae. De acuerdo al reporte generado de la predicción se concluye que aproximadamente del 92% del área tiene valores superiores a -7,5dB.

Tabla 15: Reporte Cobertura de calidad

Nombre	Superficie (km ²)	% Superficie cubierta	% Computation Zone
Cobertura de C/(I+N) Level (DL)	6,3621	100	88,7
RSRQ Level (DL) (dB) >=-4,5	4,6619	73,2761	65
RSRQ Level (DL) (dB) >=-7,5	5,8733	92,317	81,9
RSRQ Level (DL) (dB) >=-10,5	6,3343	99,563	88,3
RSRQ Level (DL) (dB) >=-13,5	6,362	99,9984	88,7
RSRQ Level (DL) (dB) >=-16,5	6,3621	100	88,7
RSRQ Level (DL) (dB) >=-19,5	6,3621	100	88,7

Autor: Elaboración Propia

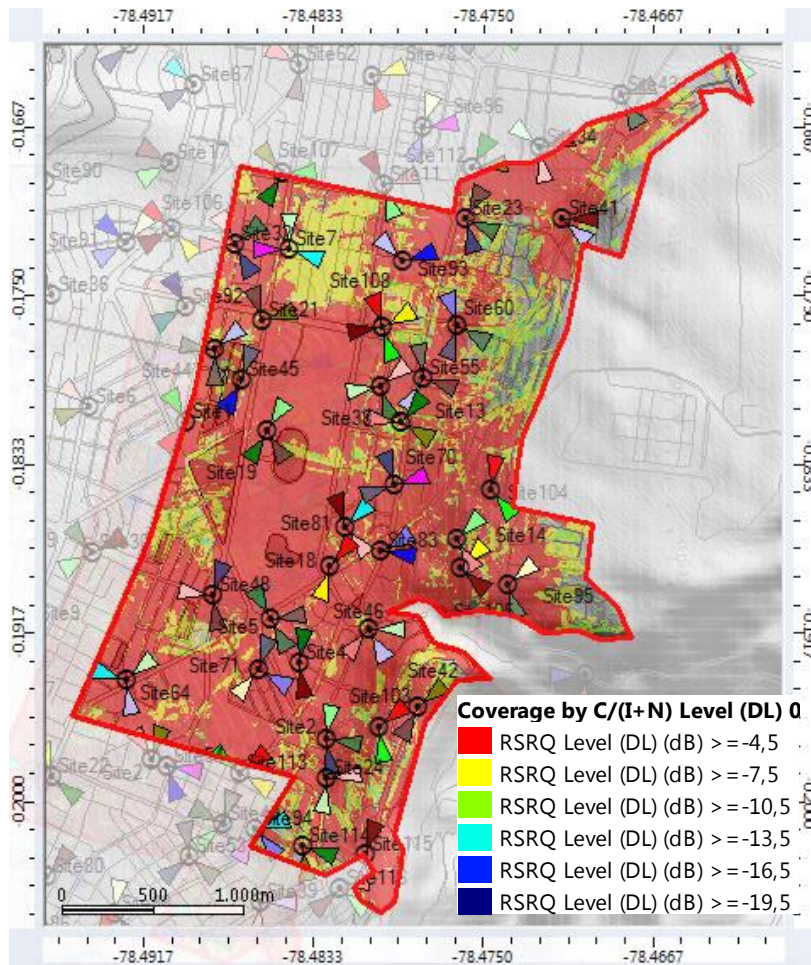


Figura 41: Predicción de calidad de la señal

Autor: Elaboración Propia

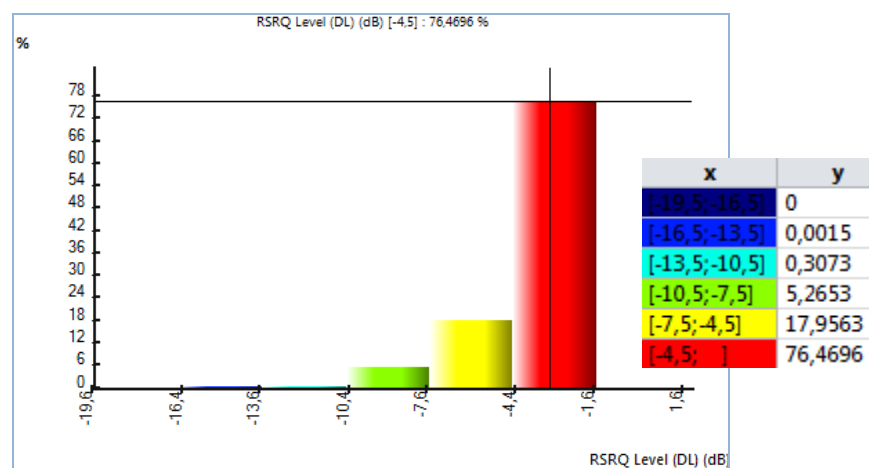


Figura 42: Histograma de la Calidad de señal

Autor: Elaboración Propia

La figura 43 indica el área donde el abonado puede acceder a la red, como se observa en

el mapa gran parte del mapa está cubierta por el color rojo, es decir que el 93% (6.6 km²) de la zona puede acceder a la tecnología LTE tanto en enlace ascendente como enlace descendente. Las áreas donde no se tiene servicio se debe a la topología del terreno y obstrucciones presentes en la zona, como se explicó antes.

Tabla 16: Resultados del Área de Servicio Efectivo

Nombre	Área (km ²)	% del Área de Cobertura – Computation Zone
Área de servicio Efectivo (DL+UL)	6,6701	93

Autor: Elaboración Propia

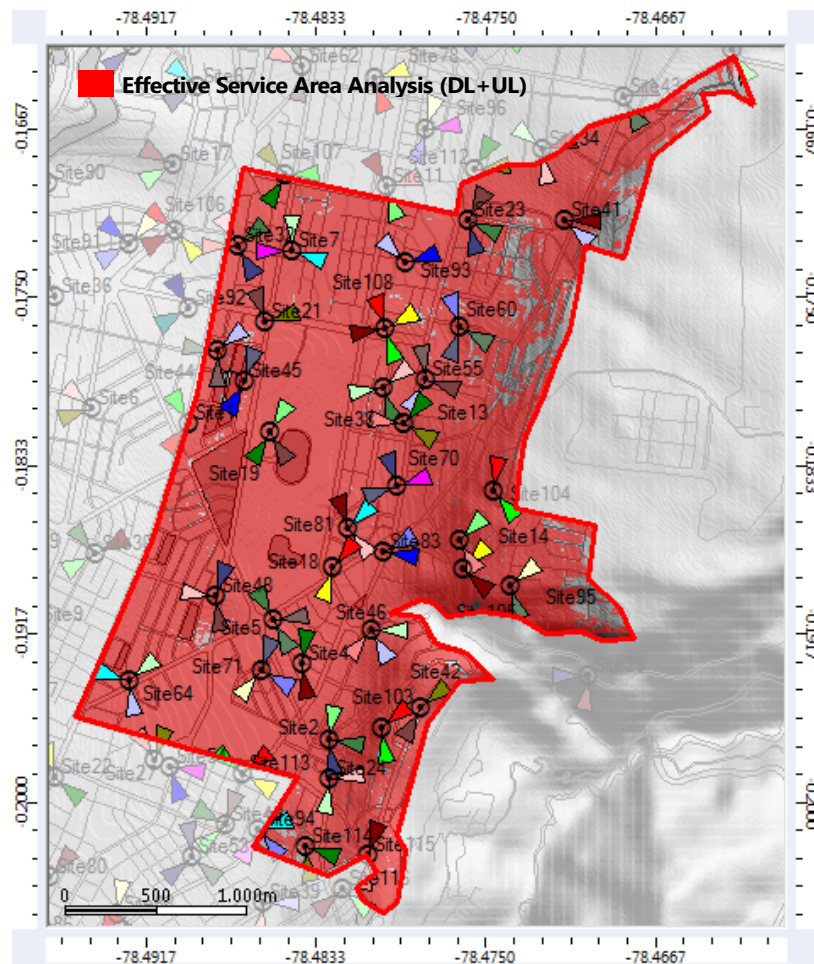


Figura 43: Predicción del Área de Servicio Efectiva

Autor: Elaboración Propia

Para verificar la velocidad de transmisión en la zona de análisis, se realiza simulaciones del throughput efectivo del canal, cuando el valor es alto la conexión a internet es más

rápida, esto quiere decir que la navegación, el uso de aplicaciones y descarga se las realiza a altas velocidades. La red entrega un throughput de 1Mbps en las peores condiciones y de 50 Mbps en condiciones óptimas, en la figura 45 se observa que el diseño planteado entrega aproximadamente al 90% de la zona una velocidad de transmisión de 12 Mbps en adelante, óptimas para experimentar la tecnología LTE.

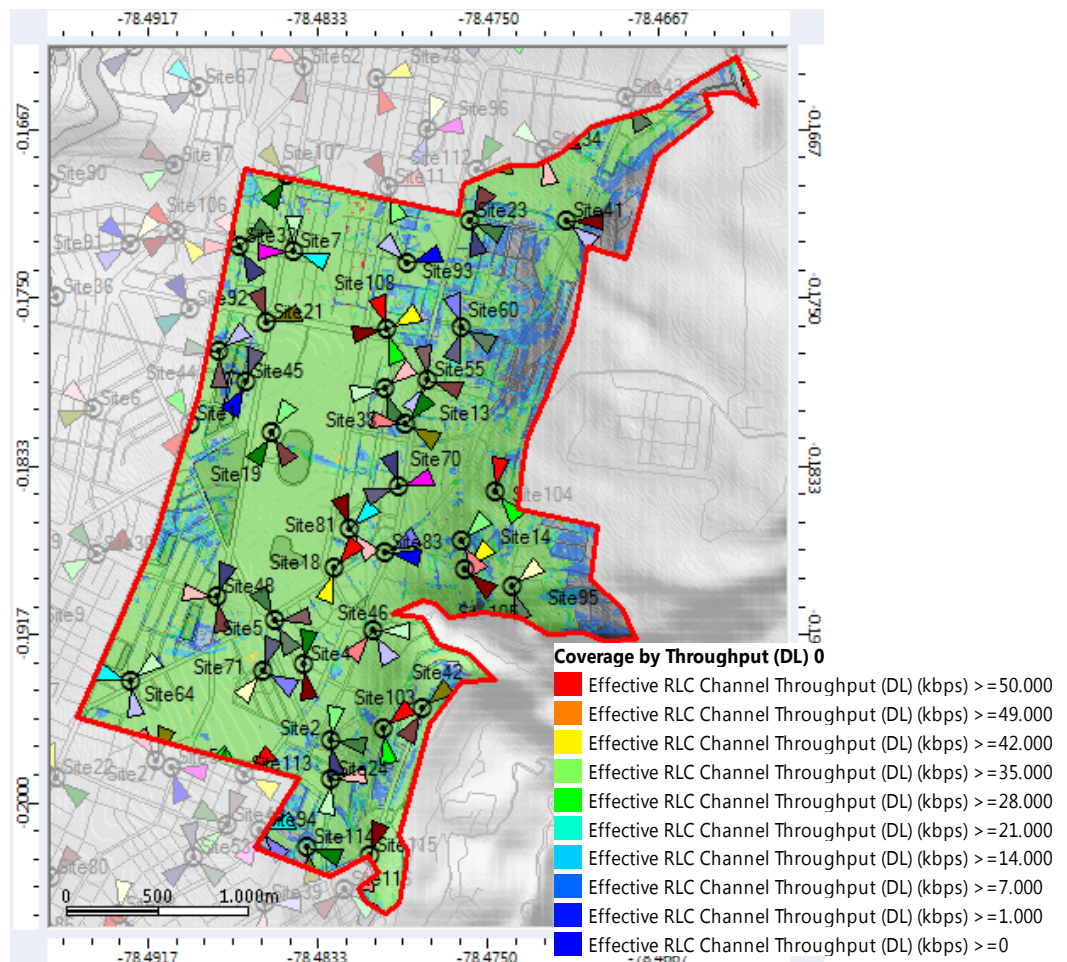


Figura 44: Predicción de throughput efectivo del canal

Autor: Elaboración Propia

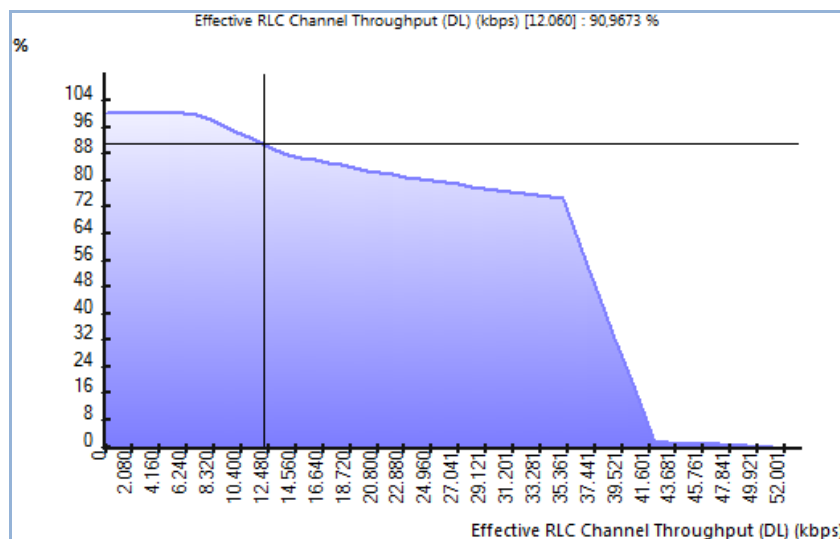


Figura 45: Porcentaje de throughput

Autor: Elaboración Propia

3.5 Análisis de Costos

El análisis de costo contempla solo la red de acceso, esto se debe a que el despliegue de la red LTE en el Ecuador está iniciando, y se considera que para el 2015 las operadoras presentes en el país tendrán un Core centralizado en las principales ciudades, esta decisión depende del operador.

Realizar una buena ingeniería consiste no solo en encontrar la mejor solución que cumpla con los requerimientos técnicos, sino también debe ser una solución óptima económicamente. Al momento de la implementación y operación de una nueva estación base, es necesario analizar los gastos de operación y la inversión que esto genera.

Para el primer año se estima dar servicio al 10% de la población de la parroquia de Iñaquito, es decir se empieza con 4414 usuarios, como se dijo anteriormente el crecimiento de la red depende de factores externos como los terminales de usuario, costo entre otros.

Para dar inicio al análisis de costos es necesario definir los conceptos de Gastos de capital (Capital Expenditures - CapEx) y Gastos operativos (Operating Expense - OpEx).

Gastos de Capital - CapEx

Es la cantidad que se usa para adquirir o mejorar los activos físicos de una empresa, “es la inversión en materia prima o equipos con el fin de mantener la producción de un producto o servicio para mantener funcionando un sistema en particular”. (JotaErre.Net, 2013)

Gastos Operativos - OpEx

“Son los costos relacionados con el mantenimiento de equipos y gastos consumibles y otros gastos de funcionamiento necesario para la producción y el funcionamiento del sistema” (JotaErre.Net, 2013)

3.5.1 Costos de Equipos e Instalación (CAPEX)

Para el análisis del CAPEX se considera los gastos que se generan al instalar una estación base, la compra de equipos, gastos de instalación, compra de terminales y un margen de error debido a que son valores estimados.

Tabla 17: CAPEX

	Cantidad	Precio Unitario	Total
<i>Equipo y Sistema Radiante</i>			
Estación base eNodoB (HW y SW)	34	\$40.000,00	\$1.360.000,00
Antenas (incluye feeder y conectores)	102	\$2.000,00	\$204.000,00
<i>Infraestructura</i>			
Instalación de eNBs	34	\$2.500,00	\$85.000,00
Instalación del Sistema Radiante	102	\$500,00	\$51.000,00
<i>Terminales</i>			
USB LTE	3090	\$100,00	\$309.000,00
Equipo móvil	1324	\$350,00	\$463.400,00
<i>Otros</i>			
Margen de error 2%			\$49.448,00
		TOTAL	\$2.521.848,00

Autor: Elaboración Propia

Equipos y Sistema Radiante

Para la compra de equipos se eligió trabajar con equipos fabricados por Huawei Technology. Se debe recalcar que los valores antes indicados son valores estimados, debido a que el valor varía dependiendo del proveedor o fabricante.

El valor de las antenas involucra costos de feeders y conectores, y se utiliza una configuración 1x1, es decir una antena por cada sector y al ser 3 sectores por sitio se tiene la cantidad de 102 antenas.

Infraestructura

Como se está trabajando bajo una base de datos de sitios existentes, se reduce el gasto por alquiler o compra de espacio a instalar el sitio, obra civil.

Terminales

Para iniciar con el despliegue de la red LTE se asume el despliegue de la red mediante módems USB LTE, basándonos en redes implementadas a nivel mundial, con respecto a los equipos móviles al momento no se cuenta con información de su desarrollo, se espera que a finales del 2014 exista la producción de los equipos. La penetración de los USB será del 70% y de los equipos móviles del 30% para el primer año, como se mencionó antes se estima dar servicio al 10% de usuarios.

Tabla 18: *Cálculo de los terminales*

	Usuarios	Penetración	Usuarios por dispositivo	Precio unitario
USB LTE	4414	0.7	3090	75,00
Equipos móviles		0.3	1324	250,00

Autor: Elaboración Propia

3.5.2 Gastos de Operación – OPEX

Los costos de operación de la red LTE en comparación con otras tecnologías son reducidos, debido a que LTE cuenta con un estándar denominado SON (Self Organization Network), que permite la auto-configuración, auto-operación y auto-optimización de la red, reduciendo en un 20 a 30% los costos que involucran

mantenimiento, optimización y personal.

Tabla 19: OPEX

	Cantidad	Precio Unitario	Total
Gastos de Operación		\$ 70.560,00	\$ 95.560,00
Gastos de Mantenimiento	34	\$ 1.000,00	\$ 408.000,00
Gastos Generales		\$ 2.000,00	\$ 200.000,00
Margen de error 2 %			\$ 14.071,20
		TOTAL	\$ 717.631,20

Autor: Elaboración Propia

Los gastos de operación se encuentran involucrados sueldos de 5 personas y el pago del espectro radioeléctrico, los valores son anuales.

Los gastos de mantenimiento involucran mantenimiento preventivo y correctivo que son reducidos por el concepto SON que maneja LTE, estos pueden ser corregidos sin la necesidad de ir al sitio.

Los gastos generales comprenden lo que es la publicidad, pago de servicios básicos entre otros.

CAPITULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- LTE tiene un altísimo potencial en Ecuador de acuerdo a las estadísticas presentadas por la SUPERTEL, sin embargo comparados con los países de la región está atrasado el despliegue debido a las concesiones de espectro, estos modelos de red avanzan un paso adelante en este objetivo y se podría implementar en la menor brevedad.
- En el diseño de la red de acceso LTE se buscó tener las consideraciones más reales con respecto a los componentes que intervienen, por eso se tomó como referencia los sitios actuales (tecnología UMTS y GSM) que dispone un operador en la zona minimizando los costos, licencias de construcción, tiempos de implementación generando así la viabilidad del proyecto.
- Al realizar la configuración de la red mediante diferentes opciones que presenta Atoll se llegó a un total de 34 estaciones, que brindan un equilibrio a nivel de cobertura, calidad y throughput que garantiza la viabilidad del proyecto.
- Fue interesante encontrar en esta parroquia diferentes modelos y comportamientos de propagación ya que cuenta con zonas financieras, centros comerciales, parques, estadio, edificios, casas familiares, montañas, generando así un amplio conocimiento los cuales se pueden aplicar en otras parroquias.
- Al contar con un software de planeación profesional en este caso Atoll y mapas de alta resolución y en 3D se pudo realizar ajustes necesarios en la fase de pre optimización dando como resultados mejoras en un 3% de cobertura e indicadores.

- Por medio de Atoll y los ajustes realizados se apreció la eficiencia espectral que esta tecnología tiene con respecto a sus predecesoras como UMTS y GSM dando a los usuarios niveles de calidad de servicios muy altos generando así una fidelidad al operador que le brinde estas opciones.
- Un factor importante de LTE es la opción de espectro escalable lo cual se pudo ver en las configuraciones y simulaciones entregadas por Atoll generando menores niveles de interferencia y mayor throughput, esto es importante y va directamente relacionado con el crecimiento de tráfico y usuarios en la red por este motivo se recomendó el uso en la fase inicial de un bloque de 10 MHz.
- Se analizó la parte financiera del proyecto y los costos que manejaría el operador a nivel de hardware, se investigó precios en el mercado sobre los eNodeB del vendor como Huawei para la parte de acceso, la información obtenida es un estimado de lo que implicaría al operador la implementación de la red, este tipo de información son de uso confidencial.

4.2 Recomendaciones

- El diseño se basó en opciones outdoor (micro celdas) generando en la fase inicial indicadores optimismo debido a que los usuarios van a ser bajos sin embargo al ser una zona de alta densidad poblacional se recomienda implementaciones de sistemas DAS en lugares como centro comerciales, estadios y edificaciones con 10 pisos o superiores.
- Se necesita un compromiso por parte del operado el cual puede ser a nivel de planes de servicios o subsidios para que los usuarios migren de las tecnologías anteriores a LTE.

- Al ser una tecnología exclusiva de PS se recomienda realizar un análisis en lo referente al servicio de voz, que puede ser implementado ya sea como CS fallback (desborde de tráfico a la red de GSN o UMTS), sistema Volga o contrato con una red IMS.
- Con el transcurso del tiempo y la penetración en el mercado de LTE se recomienda a los operadores el uso de la banda 850 (actualmente destinada a GSM y UMTS) con la cual se mejora la penetración de niveles y se minimiza el número de sitios requeridos para este fin.

BIBLIOGRAFÍA

- Agusti, R., Bernardo, F., Casadevall, F., Ferrus, R., Sallent, O., & Pérez, J. (2010). LTE: Nuevas Tendencias en Comunicaciones Mviles. (F. V. España, Ed.) España: Fundación Vodafone España.
- AIRCOM International. (2010). LTE Technology for Engineers . AIRCOM Internacional.
- Albentia Systems. (2013). Tecnología MIMO. Retrieved from Telecomunicaciones: <http://www.albentia.com/Docs/WP/Whitepaper%20MIMO.pdf>
- Alcatel.Lucent. (2012, Junio 18). Telefónica suministra una experiencia 4G LTE más inteligente. Retrieved from Telecomunicaciones: <http://www2.alcatel-lucent.com/techzine/es/telefonica-suministra-una-experiencia-4g-lte-mas-inteligente/>
- Ali-Yahiya, T. (2011). Understanding LTE and its Performance. Paris: Springer. doi:10.1007/978-1-4419-6457-1
- ALTRAN SDB. (2001). UMTS Overview. Consultores en Altas Tecnologías.
- AT&T Mobility Team. (2010). LTE RF Network Design Guidelines. AT&T Mobility LLC.
- Award Solutions. (2014). Mastering TD-LTE Air Interface. 6. Award Solutions.
- Birkelund, R., & Birk, M. (2012). Physical Layer Measurements in 3GPP LTE. Department of Electronic Systems Electrical Engineering.
- Consejo Nacional de Telecomunicaciones - CONATEL. (2012, Diciembre 12). Resolución TEL-804-29-CONATEL-2012. Retrieved from Telecomunicaciones: http://www.conatel.gob.ec/site_conatel/images/stories/resolucionesconatel/2012/TEL-804-29-CONATEL-2012_.pdf
- Consejo Nacional de Telecomunicaciones - CONATEL. (2014, Abril). Biblioteca . Retrieved from Telecomunicaciones: <http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/biblioteca/>
- Cox, C. (2012). An Introduction to LTE: LTE. LTE-advanced, SAE and 4G mobile communications. John Wiley & Sons Ltd.
- Dahlman, E., Parkvall, S., & Skold, J. (2011). 4G LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband. Oxford: Elsevier.

- Dahlman, E., Parkvall, S., Skold, J., & Beming, P. (2008). 3G Evolution HSPA and LTE for Mobile Broadband (Second ed.). Oxford: Elsevier Ltd.
- Distrito Metropolitano de Quito. (2014). Mapa Politico Parroquial. Retrieved from http://www.quito.com.ec/parroquias/index.php?option=com_content&view=article&id=245&Itemid=4
- European Telecommunications Standards Institute. (2011, Enero). 3GPP TS 36.101 v10.1.1. Retrieved from Telecomunicaciones: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136100_136199/136101/10.01.01_60/ts_136101v100101p.pdf
- European Telecommunications Standards Institute. (2012, Enero). 3GPP TS 36.306 v10.7.0. Retrieved from Telecomunicaciones: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136300_136399/136306/10.07.00_60/ts_136306v100700p.pdf
- European Telecommunications Standards Institute. (2009). 3GPP TS 36.211 v8.7.0. Retrieved from Telecomunicaciones: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136200_136299/136211/08.07.00_60/ts_136211v080700p.pdf
- Forks. (2011, Mayo 12). Technical Reference Guide. Chicago : Forks.
- Forks. (2011, Febrero). User Manual LTE. Telecomunicaciones. Chicago: Forks.
- Forks. (2012, Junio 28). Measurements and Model Calibration Guide. Telecomunicaciones. Chicago: Forks. Retrieved from Telecomunicaciones.
- Gessner, C. (2007). UMTS Long Term Evolution (LTE) Technology Introduction. Rohde & Schawarz.
- Hamalainen, S., Sanneck, H., & Sartori, C. (2012). LTE Self-Organising Networks (SON) (Fist ed.). (S. Hamalainen, S. Henning, & S. Cinzia, Eds.) A John Wiley & sonms, Ltd.
- Huawei Technologies. (2011). Long Term Evolution (LTE) Radio Access Network Planning Guide. Shenzhen: Huawei Indsutrial Base.
- JotaErre.Net. (2013, Octubre 17). Concepto de CAPEX & OPEX. Retrieved from Finanzas: <http://jotaerre.net/2013/10/17/concepto-de-capex-opex/>
- Khan, F. (2009). LTE for 4G Mobile Broadband - Air Interface Technologies and Performance. New York: Cambridge University Press.

- Lescuyer, P., & Lucidarme, T. (2008). Evolved Packet System (EPS) - The LTE and SAE Evolution of 3G UMTS. West Sussex: John Wiler & Sons, Ltd.
- Mishra, A. R. (2004). Fundamentals of Cellular Network Planning and Optimisation. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd.
- Nokia Siemens Network . (2012). LTE/EPS Network Architecture. IPR applles.
- Nokia Siemens Network. (2012). LTE Implementation. IPR applles.
- Nokia Siemens Networks. (2011). LTE 100: Introduccion to Long Term Evolution. IPR applles.
- Nokia Siemens Networks. (2011). LTE Air Interface. IPR applles.
- Población Parroquía Ñaquito. (2014, Junio 7). Retrieved from http://www.ecuadorencifras.com:8080/osticket_sp/tickets.php
- Polo, H. C. (2012). LTE Long Term Evolution. Asociacion Colombiana de Ingenieros. Bogota.
- Ramos, F. (2011, Agosto 6). Pérdidas en obstáculos. Retrieved from Radioenlaces: <http://www.radioenlaces.es/articulos/perdidas-en-obstaculos/>
- Sauter, M. (2011). From GSM to LTE And Introduction to Mobile Netwrok and Mobile Broadband. West Sussex: Wiley.
- Sesia, S., Toufik, I., & Baker, M. (2011). LTE - The UMTS Long Term Evolution From Theory to Practice (Segunda ed.). John Wiley & Sons Ltd.
- Toskala, A., & Holma, H. (2009). LTE for UMTS-OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access. Finland: John Wiley & Sons, Ltd.

ANEXOS

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA ANTENA 742266



742 266

65° Dualband Directional Antenna

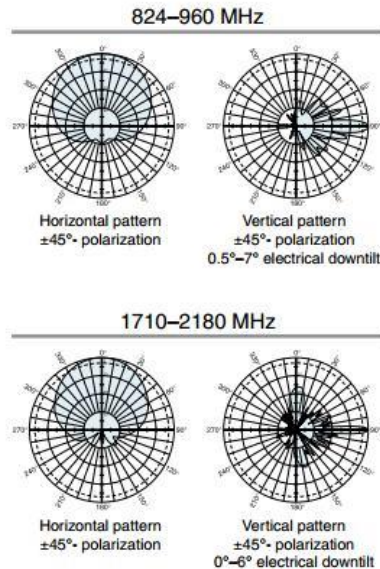
Kathrein's dual band antennas are ready for 3G applications, covering all existing wireless bands as well as all spectrum under consideration for future systems, AMPS, PCS and 3G/UMTS. These cross-polarized antennas offer diversity operation in the same space as a conventional 800 MHz antenna, and are mountable on our compact sector brackets.

- Wide band operation.
- Exceptional intermodulation characteristics.
- Remote control ready.
- Various gain, beamwidth and downtilt ranges.
- AISG compatible.
- High strength pultruded fiberglass radome.

General specifications:

Frequency range	824–960 MHz 1710–2180 MHz
VSWR	<1.5:1
Impedance	50 ohms
Intermodulation (2x20w)	IM3: <-150dBc
Polarization	+45° and -45°
Connector	4 x 7/16 DIN female
Isolation	intrasystem >30 dB intersystem >50 dB (824–960 // 1710–2180 MHz)
Weight	57.3 lb (26 kg)
Dimensions	99.1 x 10.3 x 5.5 inches (2516 x 262 x 139 mm)
Equivalent flat plate area	8.27 ft ² (0.768 m ²)
Wind survival rating*	120 mph (200 kph)
Shipping dimensions	111.3 x 11.9 x 7.8 inches (2826 x 302 x 192 mm)
Shipping weight	72.8 lb (33 kg)
Mounting	Fixed and tilt mount options are available for 2 to 4.6 inch (50 to 115 mm) OD masts.

See reverse for order information.



Specifications:	824–894 MHz	880–960 MHz	1710–1880 MHz	1850–1990 MHz	1900–2180 MHz
Gain	16.5 dBi	17 dBi	17.8 dBi	18.2 dBi	18.5 dBi
Front-to-back ratio	>28 dB (co-polar)	>28 dB (co-polar)	>25 dB (co-polar)	>25 dB (co-polar)	>25 dB (co-polar)
Maximum input power per input total power	400 watts (at 50°C) 800 watts (at 50°C)	400 watts (at 50°C)	250 watts (at 50°C)	250 watts (at 50°C) 500 watts (at 50°C)	250 watts (at 50°C)
+45° and -45° polarization horizontal beamwidth	68° (half-power)	65° (half-power)	66° (half-power)	65° (half-power)	63° (half-power)
+45° and -45° polarization vertical beamwidth	8.1° (half-power)	7.5° (half-power)	5.2° (half-power)	5° (half-power)	4.7° (half-power)
Electrical downtilt continuously adjustable	0.5°–7°	0.5°–7°	0°–6°	0°–6°	0°–6°
Sidelobe suppression for first sidelobe above horizon	0° 4° 7° T 16 16 14 dB	0° 4° 7° T 16 16 14 dB	0° 3° 6° T 13 13 13 dB	0° 3° 6° T 16 15 14 dB	0° 3° 6° T 15 15 15 dB
Cross polar ratio					
Main direction	0°	0°	0°	0°	0°
Sector	±60°	±60°	±60°	±60°	±60°
	20 dB (typical) >10 dB	20 dB (typical) >10 dB	16 dB (typical) >10 dB	18 dB (typical) >10 dB	20 dB (typical) >10 dB

*Mechanical design is based on environmental conditions as stipulated in EIA-222-F (June 1996) and/or ETS 300 019-1-4 which include the static mechanical load imposed on an antenna by wind at maximum velocity. See the Engineering Section of the catalog for further details.



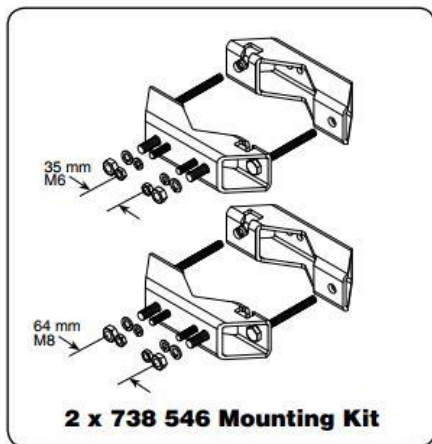
10635-1
936.2702/b

Kathrein Inc., Scala Division Post Office Box 4580 Medford, OR 97501 (USA) Phone: (541) 779-6500 Fax: (541) 779-3991
Email: communications@kathrein.com Internet: www.kathrein-scala.com



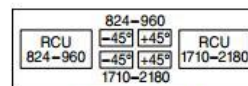
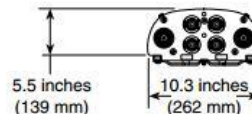
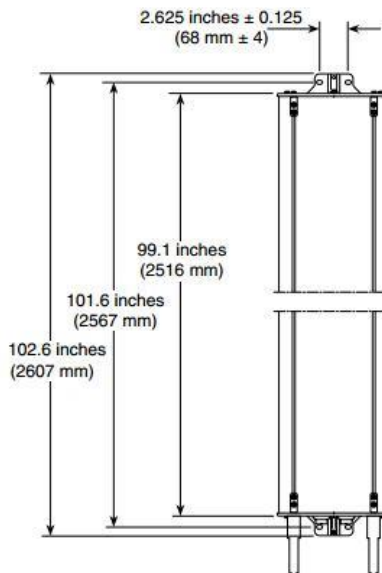
742 266

65° Dualband Directional Antenna



Mounting Options:

Model	Description
2 x 738 546	Mounting Kit for 2 to 4.6 inch (50 to 115 mm) OD mast.
742 033	Three-panel Sector Mounting Kit (120 deg. ea.) for 4.5 inch (114.3 mm) OD steel mast.
742 034	Three-panel Sector Mounting Kit (120 deg. ea.) for 5.5 inch (139.7 mm) OD steel mast.
737 978	Tilt Mount Kit 0-8 Degrees downtilt angle.



Layout of interface

Order Information:

Model	Description
742 266	Antenna with 7/16 DIN connectors

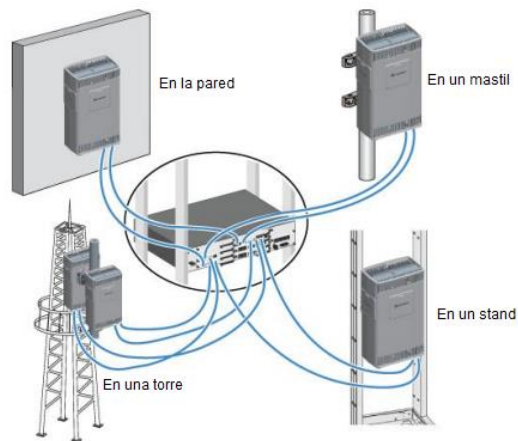
All specifications are subject to change without notice. The latest specifications are available at www.kathrein-scala.com.

Kathrein Inc., Scala Division Post Office Box 4580 Medford, OR 97501 (USA) Phone: (541) 779-6500 Fax: (541) 779-3991
 Email: communications@kathrein.com Internet: www.kathrein-scala.com

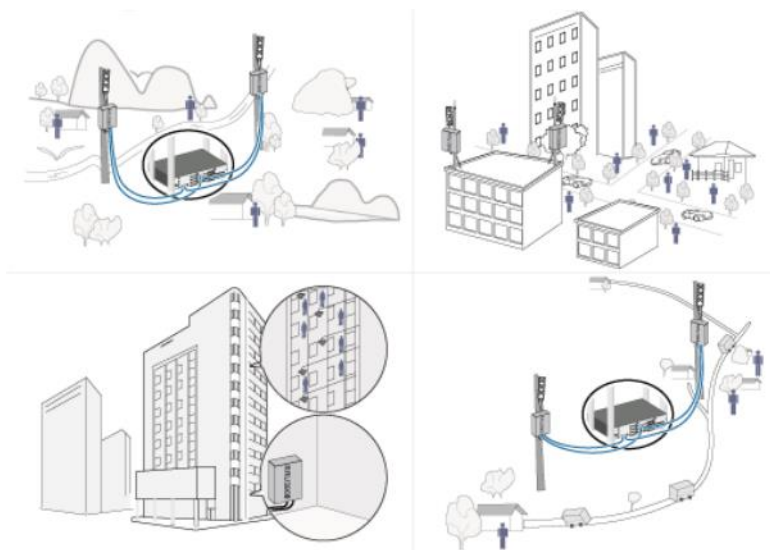
CARACTERÍSTICAS DE INSTALACIÓN Y TÉCNICAS DEL eNODOB

CARACTERÍSTICAS DE INSTALACIÓN

La estación elegida es la DBS3900, por su facilidad para la instalación y bajo rendimiento del entorno. La estación DBS3900 permite a los operadores el despliegue eficiente de una red GSM/UMTS/LTE de alto rendimiento con un bajo costo, reduciendo al mínimo la inversión en electricidad, espacio y mano de obra. El DBS3900 es aplicable a diversos escenarios. Los escenarios incluyen la cobertura urbana, rural, interior de edificios y la cobertura a lo largo de las carreteras.



Escenarios típicos de instalación típicos de la DBS3900



Escenario de aplicaciones típicas de la DBS3900

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

El DBS3900 solo tiene dos tipos de módulos básicos: Unidad de Banda ancha (BBU3900) y la unidad de radio remota (RRU3908)

Key Specifications of the DBS3900 LTE



Huawei DBS3900 LTE System Architecture

Technical Specification	
Frequency Band	700MHz, 850MHz, 1900MHz, 1.7/2.1GHz, 2.6GHz
Channel Bandwidth	1.4MHz, 3MHz, 5MHz, 10MHz, 15MHz, 20MHz
Multi-Antenna Technology	MIMO (2x2, 4x2), Tx/Rx diversity
Maximum Output Power	RRU: 2x40W, with scaled back options to 2x10W, 2x20W or 2x30W
Dimensions (H x W x D)	BBU: 86 mm x 442 mm x 310 mm (3.4" x 17.5" x 12.2") RRU: 485 mm x 285 mm x 170 mm (19.1" x 11.3" x 6.7")
Weight	BBU: < 12 kg (26.5 lb) RRU: < 19 kg (41.9 lb)
Typical Power Consumption	< 800W (S1/1/1)
Input Power Option	-48V DC
Working Temperature	BBU: -20°C to +55°C (-4°F to +131°F) RRU: -40°C to +55°C (-40°F to +131°F)
Transmission	2 FE/GE optical ports, 2 FE/GE electrical ports, E1/T1 ports (optional)
Clock Synchronization Option	Ethernet (ITU-T G.8261), GPS, IEEE1588v2, Clock over IP

Abbreviation

BBU Base Band control Unit
DBS Distributed Base Station
CPRI Common Public Radio Interface
EMS Element Management System
CAPEX Capital Expenditure
OPEX Operational Expenditure

RF Radio Frequency
RRU Remote Radio Unit
2G Second Generation
3G Third Generation
LTE Long Term Evolution
SON Self Organizing Network

Copyright © Huawei Technologies Co., Ltd. 2010.
All Rights Reserved.
The information contained in this document is for reference purpose only, and is subject to change or withdrawal according to specific customer requirements and conditions.

HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.
Huawei Industrial Base
Bantian Longgang
Shenzhen 518129, P.R. China
Tel: +86-755-28780808

ESTACIONES BASE Y CAMBIOS FÍSICOS

Item	Tipo de Cambio	Sitio /Tx/Celda	Inicial	Final
1	Azimut	Site7_Z	250	270
2	Azimut	Site93_X	50	70
3	Azimut	Site19_Z	230	215
4	Azimut	Site19_X	20	35
5	Azimut	Site19_Y	150	145
6	Azimut	Site55_I	230	210
7	Azimut	Site55_X	10	350
8	Azimut	Site48_Z	260	280
9	Azimut	Site46_Z	240	220
10	Azimut	Site60_X	100	120
11	Azimut	Site60_Z	320	340
12	Azimut	Site60_Y	220	200
13	Azimut	Site23_Z	145	165
14	Azimut	Site95_Y	140	160
15	Azimut	Site95_X	70	50
16	Azimut	Site70_X	80	70
17	Azimut	Site70_Y	230	250
18	Azimut	Site104_X	30	10
19	Azimut	Site104_Y	160	140
20	Azimut	Site46_X	80	90
21	Azimut	Site83_Y	120	100
22	Azimut	Site64_X	40	50
23	Azimut	Site64_Y	150	170
24	Azimut	Site115_X	40	20
25	Azimut	Site1_X	240	220
26	Azimut	Site45_Y	190	210
27	Azimut	Site41_Y	140	120
28	Azimut	Site81_X	65	45
29	Azimut	Site4_Y	150	170
30	Azimut	Site105_X	65	45
31	Azimut	Site21_X	90	70
32	Azimut	Site2_X	30	10
33	Azimut	Site2_Z	190	170
34	Azimut	Site114_Y	155	170
35	Azimut	Site5_Z	310	330
36	Azimut	Site14_X	60	45
37	Azimut	Site24_Y	170	190

Item	Tipo de Cambio	Sitio /Tx/Celda	Inicial	Final
38	Tilt Eléctrico	Site108_Z	7	1
39	Tilt Eléctrico	Site93_X	7	1
40	Tilt Eléctrico	Site70_Y	11	1
41	Tilt Eléctrico	Site93_Y	8	1
42	Tilt Eléctrico	Site48_Z	4	1
43	Tilt Eléctrico	Site60_Z	6	1
44	Tilt Eléctrico	Site38_Y	5	1
45	Tilt Eléctrico	Site38_X	5	1
46	Tilt Eléctrico	Site4_Y	3	1
47	Tilt Eléctrico	Site41_Y	3	1
48	Tilt Mecánico	Site7_Y	4	0
49	Tilt Mecánico	Site19_Z	4	0
50	Tilt Mecánico	Site55_I	0	5
51	Tilt Mecánico	Site48_Z	2	0
52	Tilt Mecánico	Site46_Z	2	0
53	Tilt Mecánico	Site46_X	2	0
54	Tilt Mecánico	Site60_X	-3	3
55	Tilt Mecánico	Site60_Y	4	0
56	Tilt Mecánico	Site95_Y	6	0
57	Tilt Mecánico	Site70_X	1	0
58	Tilt Mecánico	Site104_X	0	3
59	Tilt Mecánico	Site83_Y	1	0
60	Tilt Mecánico	Site64_Y	4	0
61	Tilt Mecánico	Site115_X	2	0
62	Tilt Mecánico	Site44_Y	5	2
63	Tilt Mecánico	Site81_X	5	0
64	Tilt Mecánico	Site4_Y	3	0
65	Tilt Mecánico	Site71_Z	4	2
66	Tilt Mecánico	Site7_Z	7	0

MANUAL DE USUARIO
HERRAMIENTA DE PLANIFICACIÓN

ATOLL 3.2.1



Índice General

Introducción.....	84
Requisitos del Programa.....	84
Como acceder a la herramienta	84
Creación de un nuevo proyecto	85
Sistema de Coordenadas y unidades.....	86
Modelación de la red LTE en Atoll	87
Configuración general a nivel de LTE.....	87
Como importar datos geográficos	87
Agregación del módulo de propagación	88
Parámetros de Equipamiento	89
Parámetros de Radio	90
Requerimientos:	91
Predicciones.....	91
Calculo de Cobertura	91
Como crear una predicción	92

Índice Figuras

Figura 1: Ubicación de la Carpeta en la Ventada de Escritorio.....	84
Figura 2: Ubicación del software aplicable	85
Figura 3: Pantalla principal de Atoll.....	85
Figura 4: Creación de un Nuevo proyecto.....	86
Figura 5: Configuración sistema de coordenadas y unidades.....	86
Figura 6: Configuración de la Banda de Frecuencia	87
Figura 7: Importación de archivos Vector	88
Figura 8: Configuración de datos geográficos.....	88
Figura 9: Configuración del Modelo de Propagación	89
Figura 10: Configuración del parámetro K.....	89
Figura 11: Importación de antenas	90
Figura 12: Patrones de radiación Horizontal y Vertical	90
Figura 13: Importación de Sitios y Transmisores.....	91
Figura 14: Parámetros del Transmisor.....	92
Figura 15: Predicciones	92
Figura 16: Ejemplo de Predicciones de Cobertura a nivel de señal	93

INTRODUCCIÓN

Atoll es una herramienta de planificación que permite predecir el comportamiento de las señales emitidas por las estaciones base. Modela varias tecnologías que son 2G (GSM/GPRS/EDGE), 3G (UMTS/HSPA), 4G (LTE), Wi-Fi (802.11a hasta 802.11ac), WIMAX y enlaces de microondas.

Permite la creación de proyectos multi tecnología, es decir, en un mismo proyecto se puede modelar tecnologías GSM, UMTS y LTE de acuerdo a la necesidad del usuario.

La herramienta utiliza una interfaz gráfica que permite al usuario una fácil manipulación de los atributos que presenta el software, como por ejemplo copiar, pegar, la importación y exportación de datos, flexibilidad en la gestión de datos, posibilidad de elegir que mostrar, filtrar y existe la posibilidad de agregar columnas definidas por el usuario en las tablas, etc.

REQUISITOS DEL PROGRAMA

El presente manual se realiza para la opción portable que presenta Atoll. Al ser un software portable no es necesario especificar los requisitos de hardware para su ejecución. Para acceder al software portable se adjunta el link de descarga: <http://www.forsk.com/atoll/ite/>

COMO ACCEDER A LA HERRAMIENTA

La carpeta descargada se coloca en el escritorio como se observa en la figura 1.

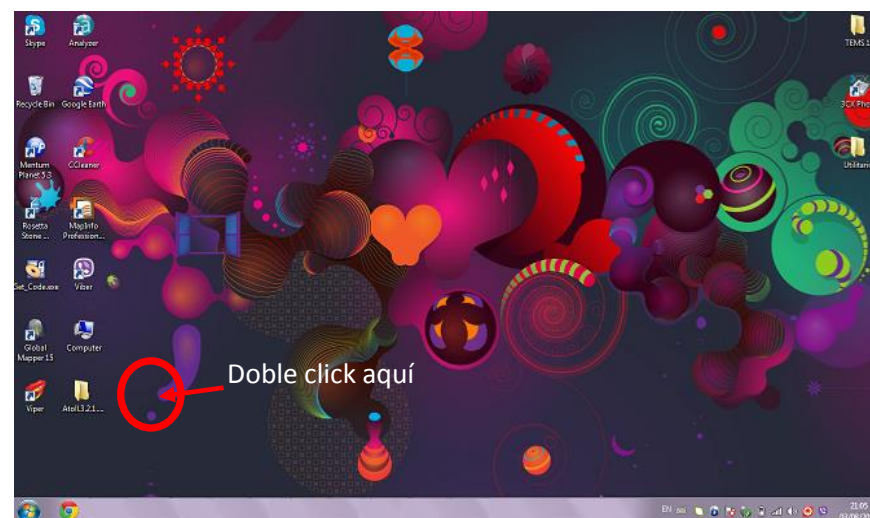


Figura 1: Ubicación de la Carpeta en la Ventada de Escritorio

A continuación se desplegara la carpeta de Atoll 3.2.1, ubíquese en el ejecutable **Atoll.exe** y damos **Enter**. Ver figura

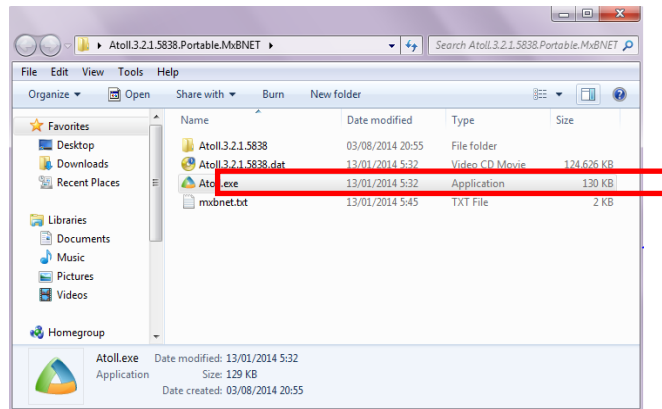


Figura 2: Ubicación del software aplicable

A continuación se despliega la pantalla de la herramienta Atoll, ver figura 3.

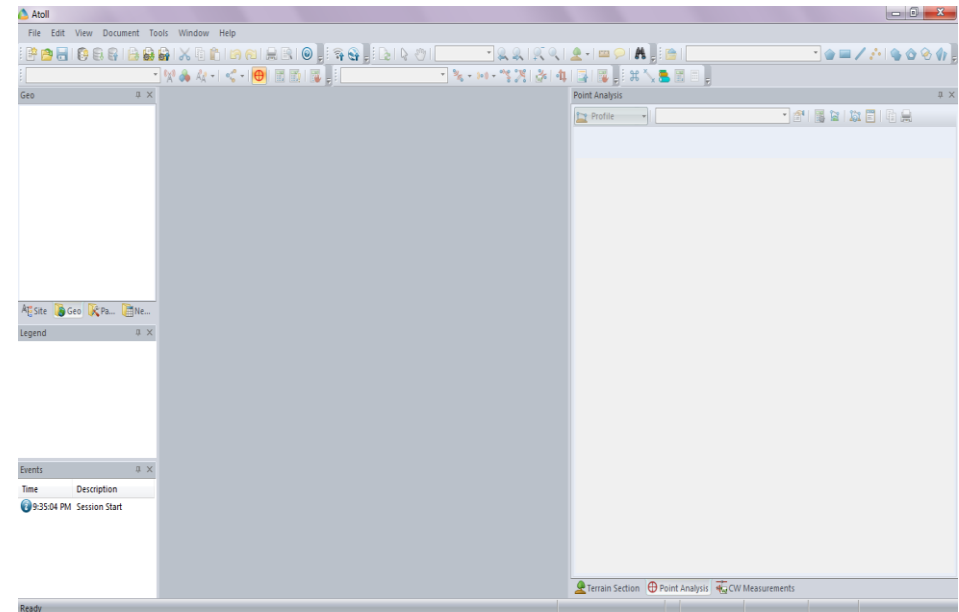
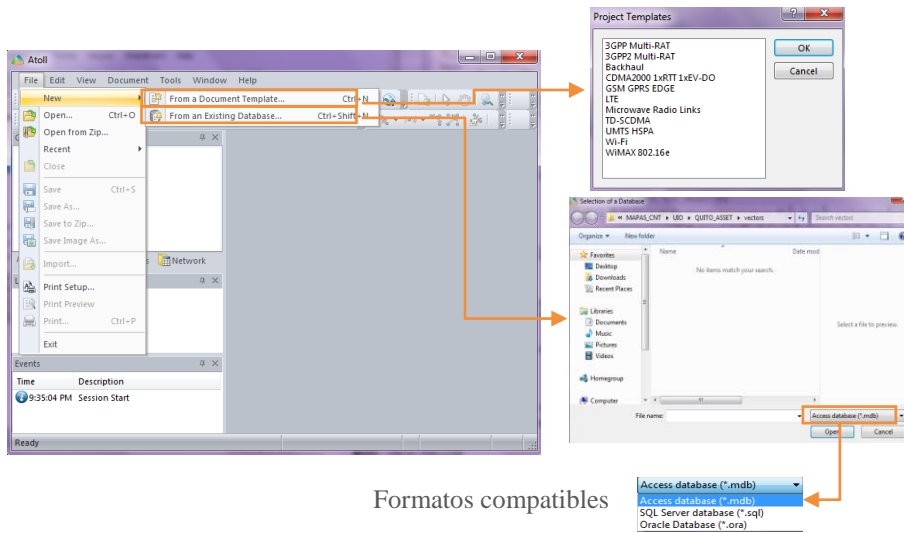


Figura 3: Pantalla principal de Atoll

CREACIÓN DE UN NUEVO PROYECTO

Para la creación del proyecto se deben seguir los siguientes pasos:

- File – New
- Existen dos maneras de crear un documento en Atoll:
 - Proyecto creado a partir de una plantilla del documento
 - Proyecto creado a partir de una base de datos



Formatos compatibles

Figura 4: Creación de un Nuevo proyecto

Atoll guarda los archivos con la extensión .ATL.

SISTEMA DE COORDENADAS Y UNIDADES

La configuración del sistema de coordenadas y unidades de medida son de suma importancia para la ejecución del programa, la figura 4 presenta los pasos a seguir para su configuración

- Document – Properties

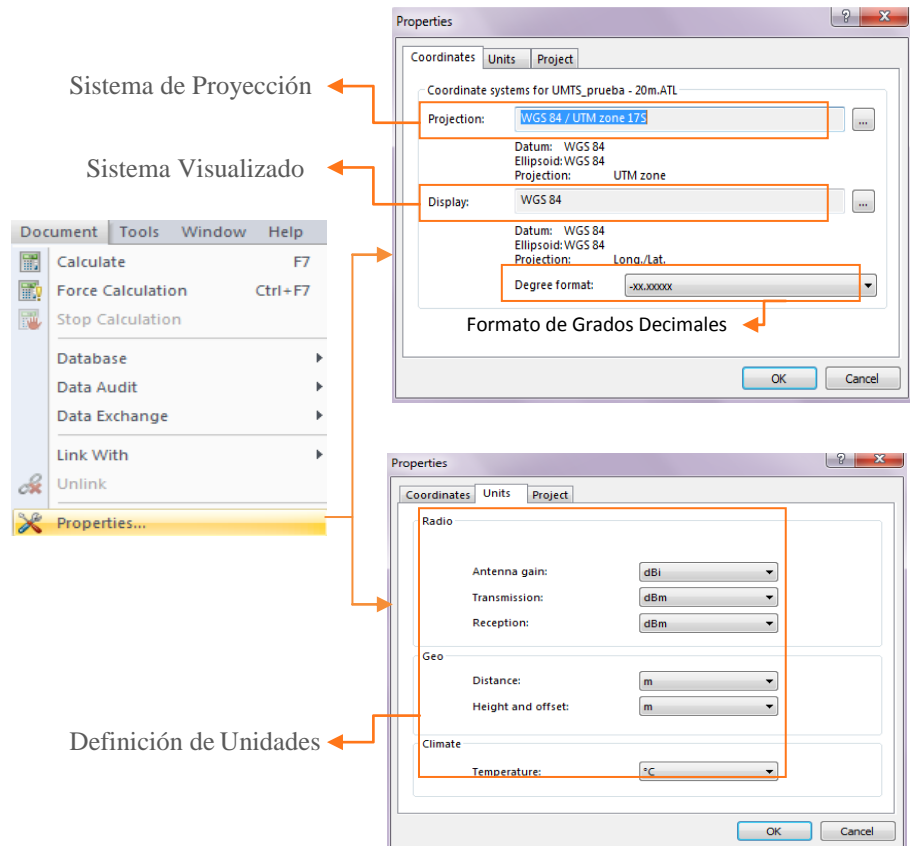


Figura 5: Configuración sistema de coordenadas y unidades

Es necesario definir el sistema de proyecciones que va a ser utilizado para obtener los mapas geográficos, Ecuador utiliza las coordenadas WGS84/UMT zona 17S. También se define el sistema de coordenadas utilizadas para visualización en Atoll (coordenadas de sitios, posición de un punto en el mapa), la figura 4 muestra los pasos a seguir.



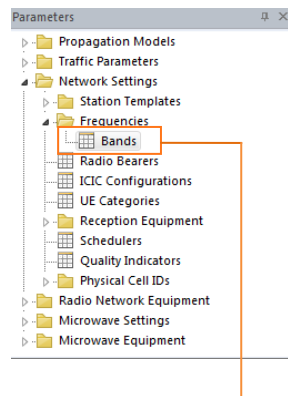
Los datos que hasta el momento se han configurado son parámetros generales que permiten dar inicio a la planificación de la red de cualquier tecnología.

MODELACIÓN DE LA RED LTE EN ATOLL

Configuración general a nivel de LTE

En esta sección se define la banda de frecuencia de operación del proyecto y la estructura de la trama LTE, a continuación se muestra los pasos a seguir para su configuración.

Configuración de la banda de Frecuencia de Operación



Atoll presenta una serie de bandas de operación para la tecnología LTE, al no encontrar la banda requerida, Atoll permite su fácil creación y configuración. Los valores correspondientes a las bandas se encuentran en:

http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136100_136199/136101/10.01.01_60/ts_136101v100101p.pdf

Name	Duplexing Method	TDD: Start Frequency, FDD: DL Start Frequency (MHz)	FDD: UL Start Frequency (MHz)	Channel Width (MHz)	Number of Frequency Blocks (RB)	Sampling Frequency (MHz)	First channel	Last channel	Excluded Channels	Adjacent Channel Suppression Factor (dB)
1850 TDD - 1.4 MHz (E-UTRA Band 35)	TDD	1.850		1.4	6	1,92	0	41		28,23
1850 TDD - 10 MHz (E-UTRA Band 35)	TDD	1.850		10	50	15,36	0	5		28,23
1850 TDD - 15 MHz (E-UTRA Band 35)	TDD	1.850		15	75	23,04	0	3		26,99
1850 TDD - 20 MHz (E-UTRA Band 35)	TDD	1.850		20	100	30,72	0	2		25,23
1850 TDD - 3 MHz (E-UTRA Band 35)	TDD	1.850		3	15	3,84	0	19		28,23
1850 TDD - 5 MHz (E-UTRA Band 35)	TDD	1.850		5	25	7,68	0	11		28,23
1900 TDD - 10 MHz (E-UTRA Band 33)	TDD	1.900		10	50	15,36	0	1		28,23
1900 TDD - 15 MHz (E-UTRA Band 33)	TDD	1.900		15	75	23,04	0	0		26,99
1900 TDD - 20 MHz (E-UTRA Band 33)	TDD	1.900		20	100	30,72	0	0		25,23
1900 TDD - 5 MHz (E-UTRA Band 33)	TDD	1.900		5	25	7,68	0	3		28,23
2010 TDD - 10 MHz (E-UTRA Band 34)	TDD	2.010		10	50	15,36	0	0		28,23
2010 TDD - 15 MHz (E-UTRA Band 34)	TDD	2.010		15	75	23,04	0	0		26,99
2010 TDD - 5 MHz (E-UTRA Band 34)	TDD	2.010		5	25	7,68	0	2		28,23
2110 FDD - 10 MHz (E-UTRA Band 1)	FDD	2.110	1.920	10	50	15,36	0	5		28,23
2110 FDD - 15 MHz (E-UTRA Band 1)	FDD	2.110	1.920	15	75	23,04	0	3		26,99
2110 FDD - 20 MHz (E-UTRA Band 1)	FDD	2.110	1.920	20	100	30,72	0	2		25,23
2110 FDD - 5 MHz (E-UTRA Band 1)	FDD	2.110	1.920	5	25	7,68	0	11		28,23
925 FDD - 1.4 MHz (E-UTRA Band 8)	FDD	925	880	1.4	6	1,92	0	24		28,23
925 FDD - 10 MHz (E-UTRA Band 8)	FDD	925	880	10	50	15,36	0	2		28,23
925 FDD - 3 MHz (E-UTRA Band 8)	FDD	925	880	3	15	3,84	0	10		28,23
925 FDD - 5 MHz (E-UTRA Band 8)	FDD	925	880	5	25	7,68	0	6		28,23
E-UTRA band 4, 1.4 MHz	FDD	2.110	1.710	1.4	6	1,92	0	31		33
E-UTRA band 4, 10 MHz	FDD	2.110	1.710	10	50	15,36	0	3		33
E-UTRA band 4, 15 MHz	FDD	2.110	1.710	15	75	23,04	0	2		30
E-UTRA band 4, 20 MHz	FDD	2.110	1.710	20	100	30,72	0	1		27
E-UTRA band 4, 3 MHz	FDD	2.110	1.710	3	15	3,84	0	14		33
E-UTRA band 4, 5 MHz	FDD	2.110	1.710	5	25	7,68	0	8		33

Como importar datos geográficos

Los datos geográficos utilizados en el cálculo de propagación:

- Modelo digital del Terreno (DTM)
- Clutter Classes
- Clutter Height
- Building
- Vector → Se utiliza para propósitos de visualización



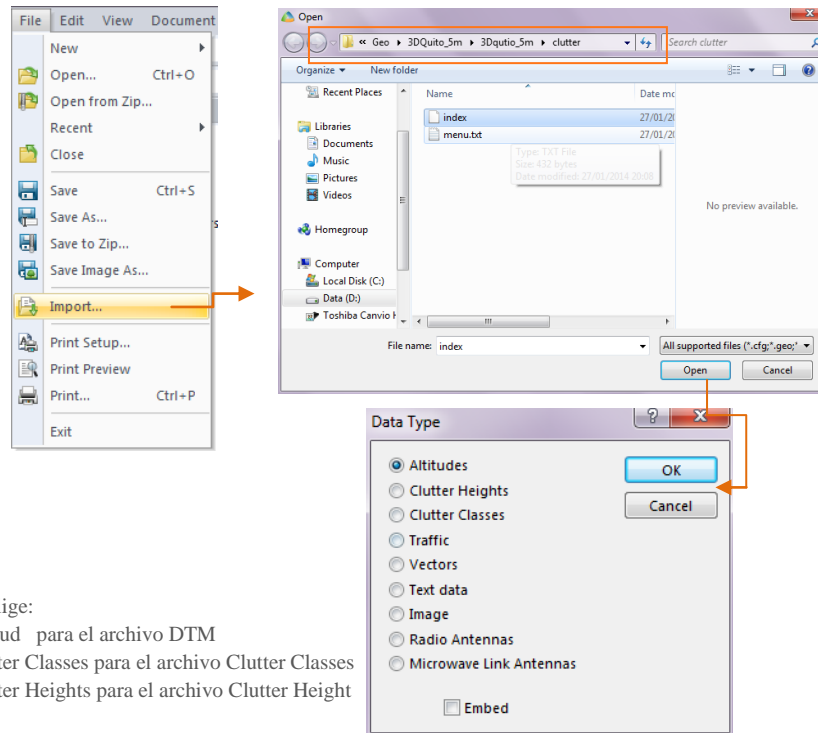
Los archivos de datos geográficos que se importan deben estar en el mismo sistema de proyección de coordenadas que se define al inicio del manual.

Para importar los datos geográficos se debe realiza los siguientes pasos:

- File – Import

Carpeta donde se encuentra ubicado los datos geográficos





Se elige:

Altitud para el archivo DTM

Clutter Classes para el archivo Clutter Classes

Clutter Heights para el archivo Clutter Height

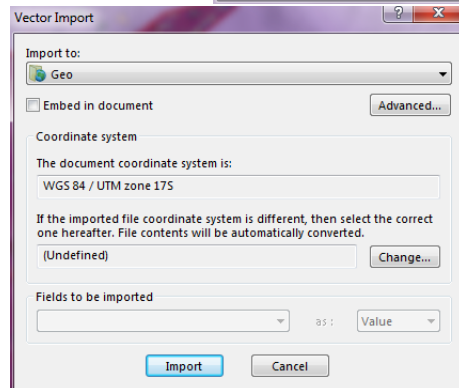


Figura 7: Importación de archivos Vector

Cada archivo de datos geográficos se convierte en una capa en la pestaña GEO

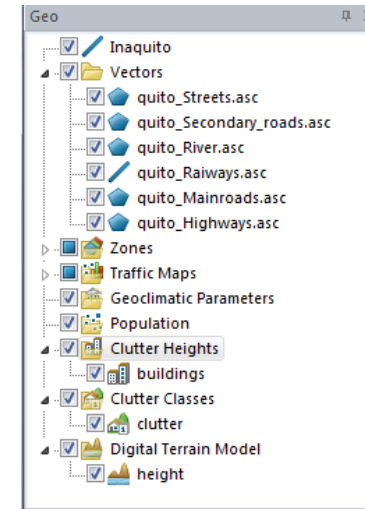


Figura 8: Configuración de datos geográficos

Agregación del módulo de propagación

Se procede con la agregación y configuración del modelo de propagación.

- Ir a la pestaña *Parameters*
- Realizar un duplicado de SPM
- Hacer doble clic en el SPM duplicado y cambiarlo de nombre

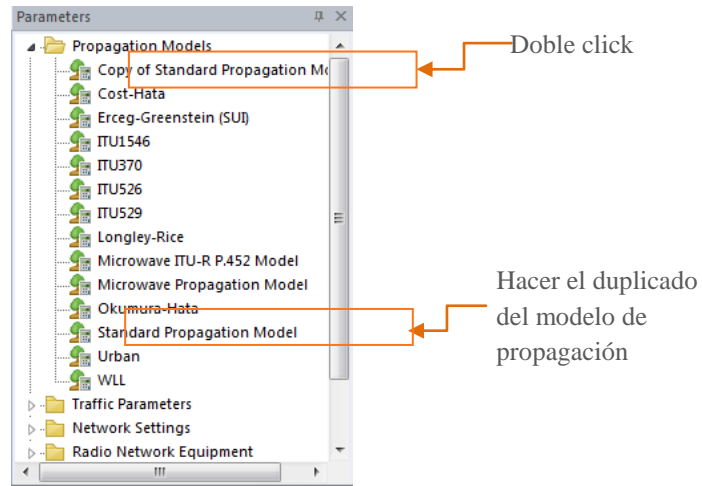


Figura 9: Configuración del Modelo de Propagación

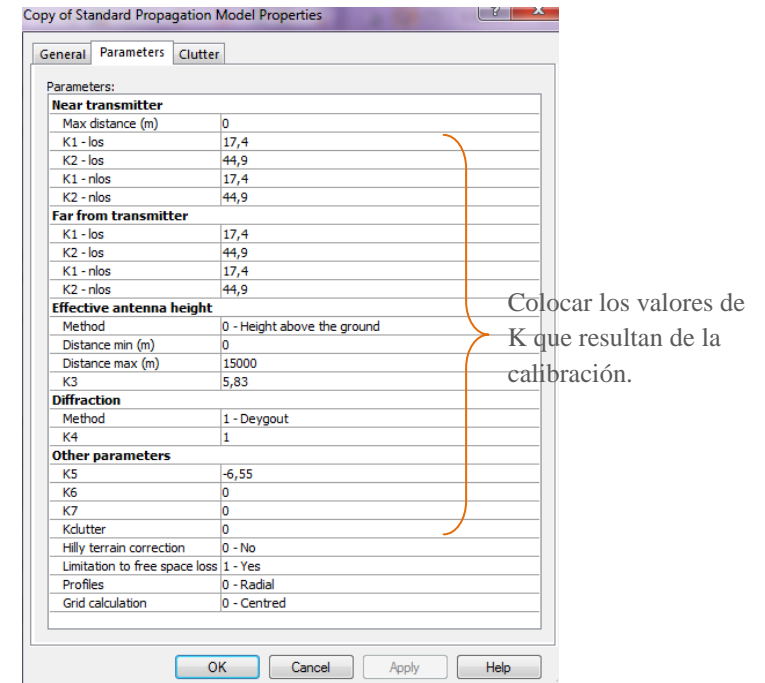
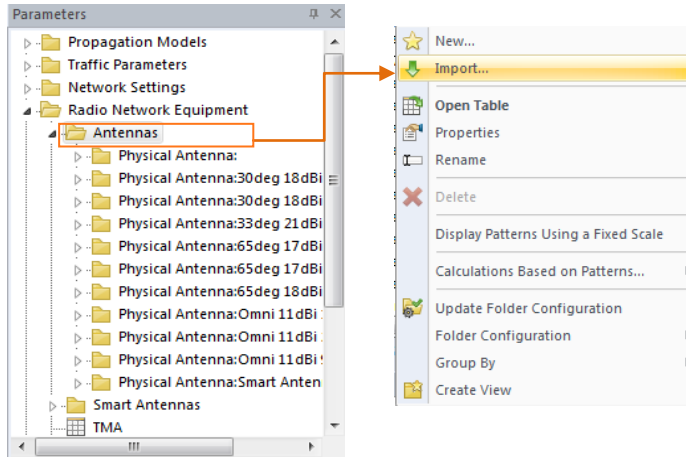


Figura 10: Configuración del parámetro K

Parámetros de Equipamiento

Se puede crear o importar las antenas a utilizar. Se explica la opción de importar antenas



Se adiciona el archivo TXT o CSV del patrón de radiación de la antena 742266

Figura 11: Importación de antenas

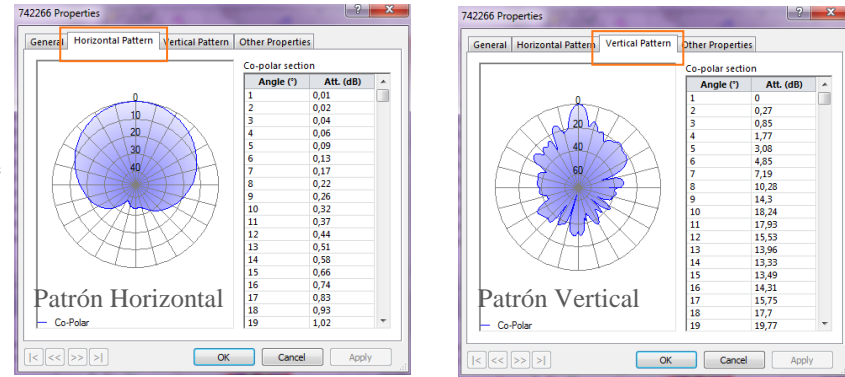


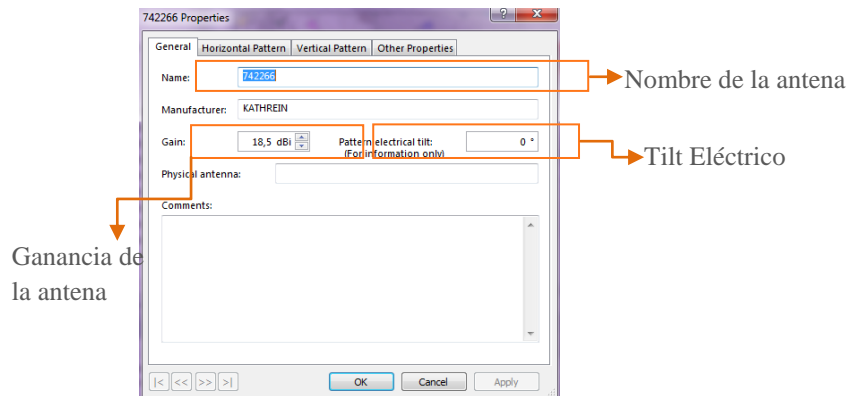
Figura 12: Patrones de radiación Horizontal y Vertical

Parámetros de Radio

Es momento de añadir sitios y transmisores del proyecto. Se realiza una plantilla en Excel, con información que solicita Atoll.

- Sitios: X(longitud) y Y (latitud)
- Transmisores: Configuración de la antena (modelo, altura, azimut, tilt mecánico y eléctrico, etc.) y Propagación (modelo, radio y resolución).
- Celdas: Banda de Frecuencia y Canales, PCI, Definición de potencia, Adyacencias, etc.

Seguir los siguientes pasos para su importación.



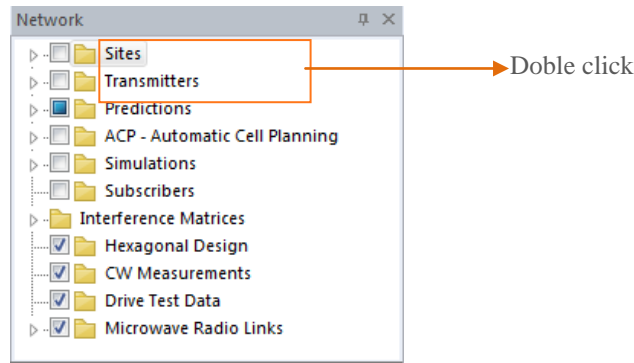
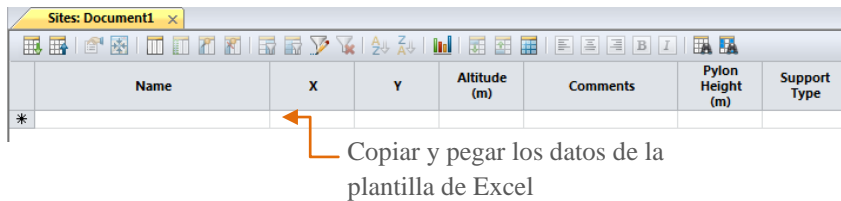


Figura 13: Importación de Sitios y Transmisores

Clic derecho dentro de la tabla (Import) – añadir nuevos registros



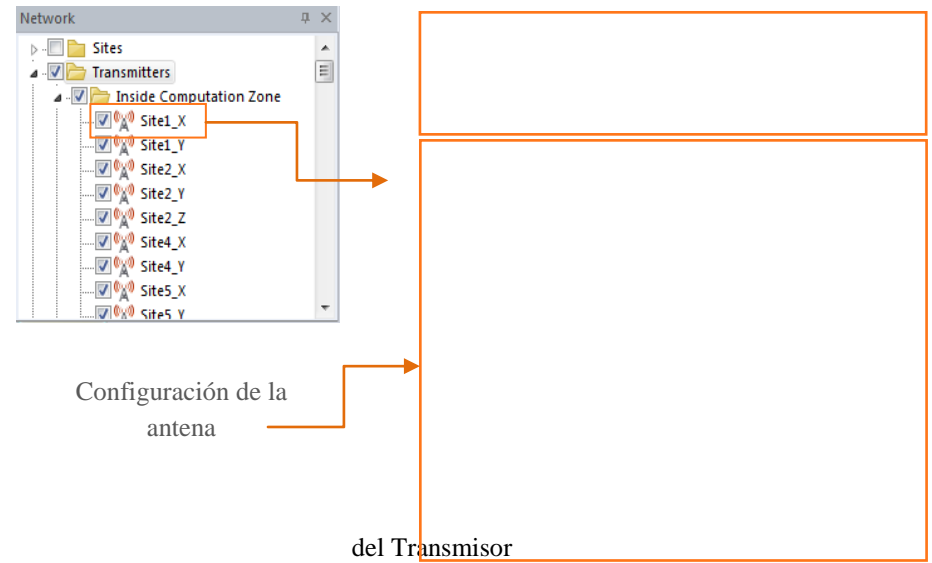
Requerimientos:

Se importa archivos tipo TXT o CSV

El orden de importación debe ser: sitios, transmisores y finalmente las celdas.



Para añadir los transmisores se realiza de igual forma que la sección de sitios, los datos importados deben coincidir con las columnas expuestas por Atoll



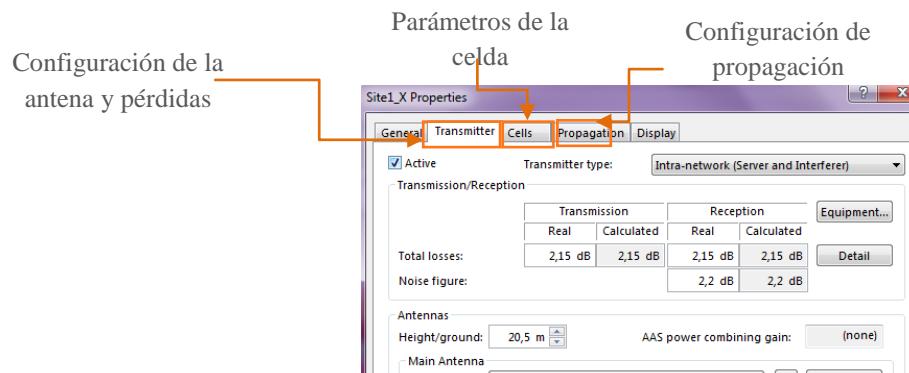
En la pestaña “General” se puede configurar el nombre del transmisor, el sitio al que pertenece, la posición de la antena y un comentario. La pestaña “Transmisor” se puede configurar el tipo de potencia, las pérdidas, la configuración de la antena.

PREDICCIONES

Cálculo de Cobertura

Para realizar cálculos se realiza los siguientes pasos:

- Ir a la pestaña GEO y seleccionar Computation Zone, permite seleccionar un grupo de sitios y transmisores según el requerimiento.
- Se debe activar las antenas



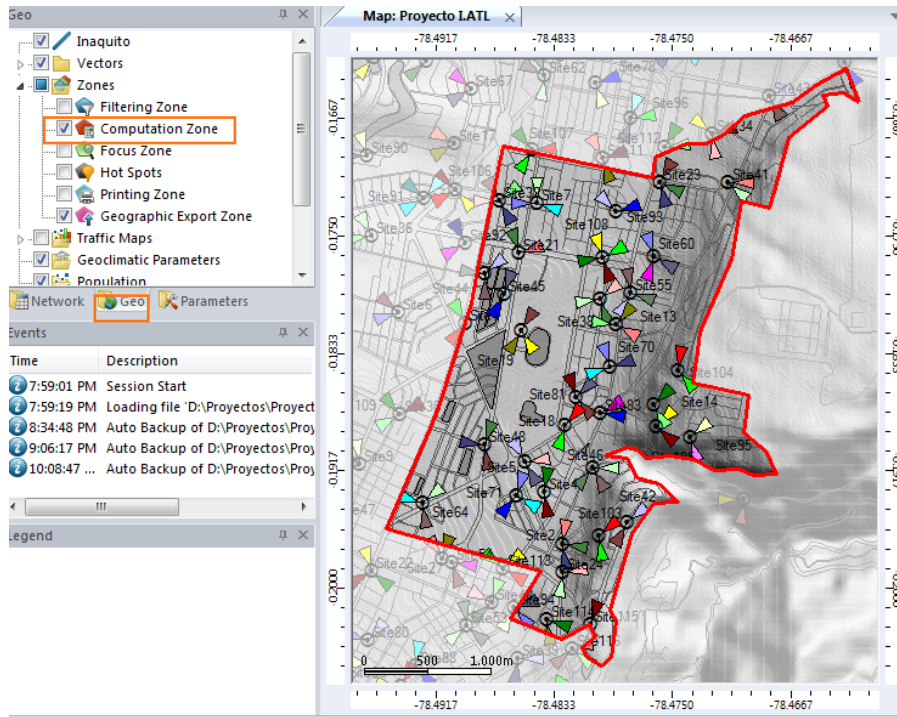


Figura 14: Parámetros del Transmisor

Como crear una predicción

- Ir a la pestaña “Networking”
- Elegir “New Prediction” y seleccionar la predicción

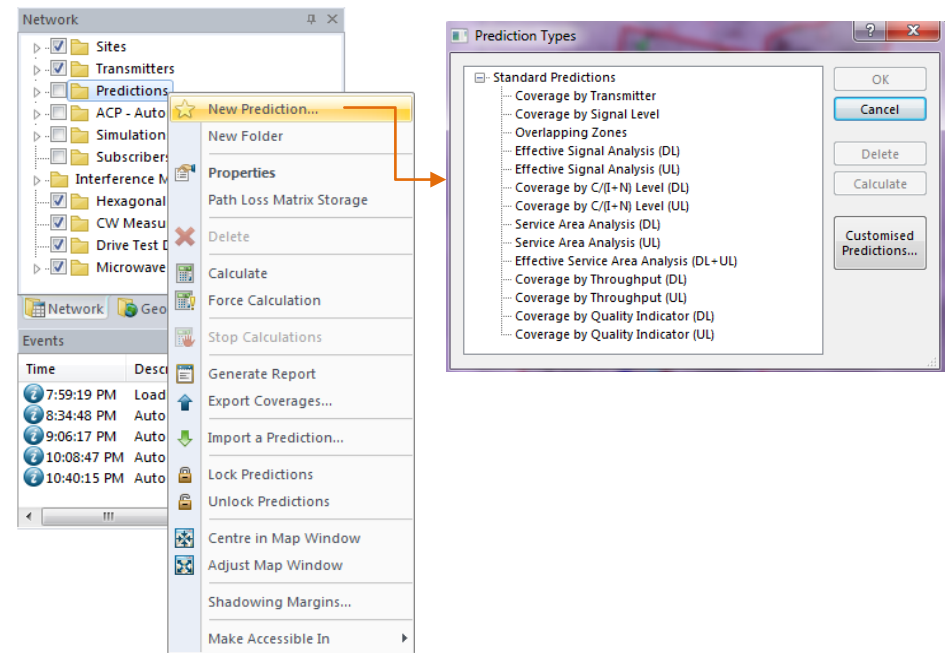


Figura 15: Predicciones

Se elige la predicción de acuerdo a sus necesidades, a continuación se presenta un ejemplo de la predicción de cobertura.

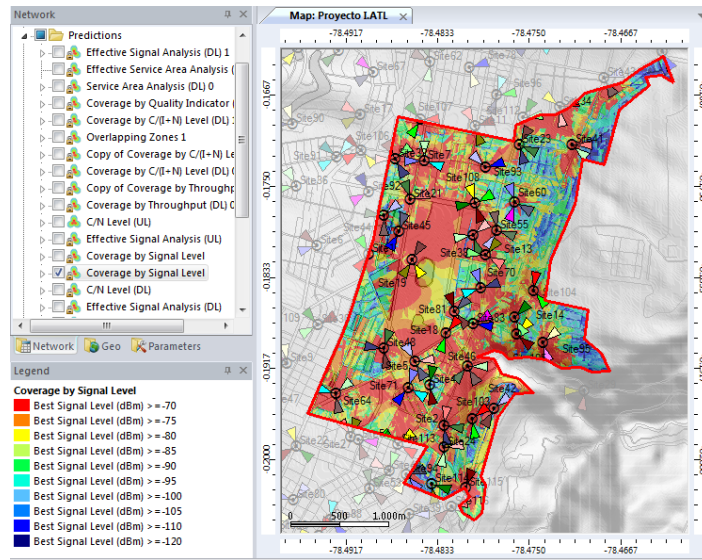


Figura 16: Ejemplo de Predicciones de Cobertura a nivel de señal