

# “Diseño de una Red 4G (Long Term Evolution) en el Clúster 2 de la ciudad de Quito para el operador CNT EP.”

Alvarez Paredes Diana Carolina  
 dian.alvarez1990@gmail.com  
 Universidad Técnica del Norte

## RESUMEN

*Este artículo tiene como objetivo mostrar en primer lugar un resumen de las principales características de LTE, así como también un pequeño análisis de los pasos y requerimientos necesarios para el diseño de una red de comunicaciones bajo tecnología LTE con el estándar 3GPP en el clúster 2 al sur de la ciudad de Quito. Finalmente se analiza el comportamiento y la funcionalidad de la red bajo predicciones y simulación.*

mayores capacidades y prestaciones, las mismas que son el principal atractivo para los usuarios, los cuales mediante esta nueva red de alta velocidad podrán disfrutar al máximo de esta nueva experiencia en tecnología móvil.

LTE promete a los consumidores un nuevo nivel de acceso de banda ancha móvil al tiempo que logre garantizar que los operadores de red alcancen una mayor eficiencia operativa y reducción de costes del servicio, ofreciendo altas velocidades de transmisión de datos con una menor latencia de paquetes en comparación con las tecnologías móviles anteriores.

## 1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

En la actualidad el mundo de las telecomunicaciones ha evolucionado a pasos gigantescos, varios han sido sus puntos clave de desarrollo, pero no cabe duda que la tecnología celular ha sido la primordial, debido a que existe una gran demanda por parte de los usuarios, los cuales con el pasar del tiempo hoy en día únicamente no se conforman con tener teléfonos celulares para servicios de voz y datos, sino que buscan mejores aplicaciones a mayor velocidad.

### 1.1 LONG TERM EVOLUTION LTE

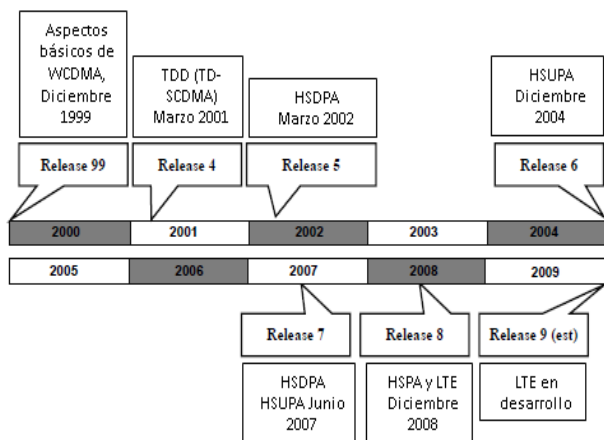
LTE nace con el fin de satisfacer las exigencias de los usuarios en cuanto a servicios y aplicaciones de alta velocidad, ya que cada vez los dispositivos móviles son diseñados con

#### 1.1.1 Breve recuento histórico de LTE

LTE en la actualidad se sitúa en la cúspide de la evolución para 3GPP<sup>1</sup>, no obstante como se observa en la figura 1, es importante evaluar el proceso de evolución por el que pasaron las tecnologías móviles a través de varias versiones o releases para llegar a LTE; sin embargo la estandarización de LTE no quiere decir que un mayor desarrollo de las anteriores tecnologías de acceso de radio en 3GPP ha cesado, en particular la mejora de UMTS con las nuevas versiones de las especificaciones sigue en 3GPP, estas mejoras compatibles con versiones anteriores permitirán a los operadores de redes que han invertido fuertemente en la tecnología UMTS, generar nuevos ingresos sin dejar de ofrecer el servicio a sus suscriptores actuales usando terminales ya existentes.

---

<sup>1</sup> 3GPP: 3rd Generation Partnership Project



**Figura 1.** Línea de evolución en el tiempo de los estándares 3GPP.

**Fuente:** Toskala, H. H. (2009). *LTE for UMTS: OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access*. John Wiley & Sons Ltd.

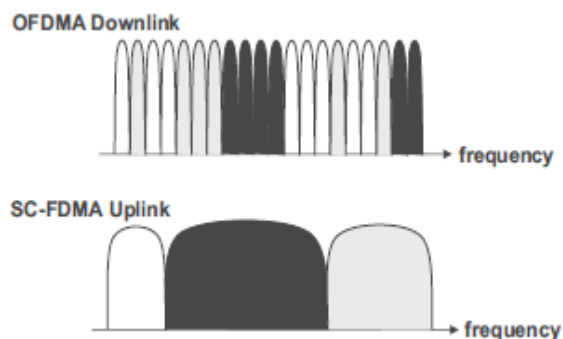
Pero lo peculiar es que LTE fue diseñado desde el principio con el objetivo de evolucionar a largo plazo la tecnología de acceso de radio, bajo el supuesto de que todos los servicios serían basados en conmutación de paquetes, en lugar de seguir el modelo de conmutación de circuitos de los sistemas anteriores.

### 1.1.2 Principios básicos de la tecnología LTE

Desde años atrás tanto investigadores como proveedores de servicios de telecomunicaciones, han trabajado en la evolución técnica de las redes móviles, estableciendo parámetros en concreto que haga que cada eslabón en la evolución tenga su propia singularidad, estableciendo diferentes protocolos, arquitecturas de red, formas de acceso al medio y técnicas de transmisión, todo esto con miras a conseguir una integración más eficiente de los servicios y aplicaciones que pueda ofrecer la red móvil de cuarta generación.

La adopción de un enfoque multiportadora para el acceso múltiple en LTE, fue uno de los parámetros más importantes que se eligieron, posteriormente después de esta propuesta, la elección de los esquemas de acceso múltiple se realizó en diciembre del 2005 por parte de la

3GPP, concluyendo que la técnica de acceso múltiple OFDMA<sup>2</sup> sea seleccionada para el enlace descendente o recepción de datos; mientras que SC-FDMA<sup>3</sup> para el enlace ascendente o envío de información. Ambos esquemas trabajan en el dominio de la frecuencia con el fin de aportar flexibilidad al sistema LTE.



**Figura 2.** Dominio de la frecuencia de las tecnologías de acceso múltiple LTE.

**Fuente:** Stefania Sesia, M. B. (2009). *LTE - the UMTS long term evolution: from theory to practice*. John Wiley & Sons Ltd.

- **Técnica de acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal OFDMA:**

- Es basada en la técnica de acceso OFDM<sup>4</sup>, con el fin de proporcionar un esquema flexible de múltiple acceso. OFDM divide el ancho de banda disponible para la transmisión de la señal en varias sub-portadoras de banda estrecha, de manera que sean mutuamente ortogonales, con el fin de que cada símbolo que se transmite lo haga de forma paralela y superponiéndose varios símbolos simultáneamente.

- **Técnica de acceso múltiple por división de frecuencia de única portadora SC-FDMA:**

combina las características de OFDM, es decir divide el ancho de banda de transmisión en múltiples subportadoras paralelas, manteniendo

<sup>2</sup>OFDMA: Orthogonal Frequency Division Multiple Access (Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal).

<sup>3</sup>SC-FDMA: Single Carrier Frequency Division Multiple Access (Acceso Múltiple por División de Frecuencia de única portadora).

<sup>4</sup>OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing (Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal).

la ortogonalidad entre ellas, pero a diferencia de OFDMA, donde todos los símbolos de datos son modulados independientemente por cada subportadora, en SC-FDMA la señal modulada sobre una sub-portadora dada es una combinación lineal de todos los símbolos de datos transmitidos en el mismo instante de tiempo, de tal manera que en cada período de símbolo todas las subportadoras de transmisión de una señal SC-FDMA llevan un componente de cada símbolo de datos modulado, esto brinda a SC-FDMA su propiedad de una sola portadora fundamental, principio por el cual 3GPP utiliza SC-FDMA para el acceso múltiple en enlace ascendente de LTE.

### 1.1.3 Arquitectura del sistema LTE

La arquitectura de red general para 3GPP está conformada por el equipo de usuario UE y por una infraestructura de red que se divide de forma lógica en una red de acceso E-UTRAN<sup>5</sup> y una de red de Core o Núcleo EPC<sup>6</sup>.

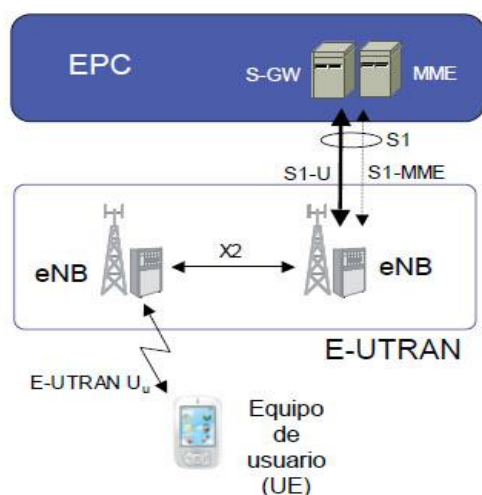


Figura 3. Arquitectura LTE

Fuente: LTE Architecture. Copyright © 2010 Huawei Technologies Co., Ltd.

#### 1.1.3.1 Núcleo de red (Evolved Packet Core)

El núcleo de red o red troncal, es la parte del sistema encargado de realizar el control de

acceso a la red celular, autenticación de usuarios, gestión de movilidad de usuarios, mecanismos de interconexión con otras redes, así como también control de servicios de usuario final. Sus principales nodos lógicos son:

**Mobility Management Entity (MME):** La entidad de gestión de movilidad de la red LTE, es la encargada de gestionar el acceso de los terminales de usuario a través de la red de E-UTRAN, su funcionamiento se basa en que a cada usuario registrado en la red E-UTRAN se le asigna una entidad MME, la misma que cumple funciones de autenticación y seguridad.

**Serving Gateway (S-GW):** El servicio de puerta de enlace S-GW, es el responsable de la organización del tráfico de paquetes en enlace descendente, ya que por su parte el eNodeB es responsable del tráfico de los paquetes en enlace ascendente. Todos los paquetes IP de usuario se transfieren a través de S-GW, que sirve como el punto local de movilidad de los portadores de datos cuando el UE se mueve entre eNodeB; también conserva la información sobre las portadoras cuando el UE está en estado de reposo.

**Packet Data Network Gateway (PDN-GW):** PDN-GW es el router de borde entre el núcleo de red y las redes de paquetes de datos externas; es decir funciona como una pasarela entre una red y otra, al igual que S-GW, PDN-GW se mantiene en las instalaciones del operador en una ubicación centralizada, en la cual cada usuario desde que se registra en la red LTE se le asigna como mínimo un PDN-GW. Su función principal es la asignación de la dirección IP al UE, el cual la utiliza para comunicarse con otros hosts IP en redes externas, por ejemplo la Internet.

**Policy Control and Charging Rules Function (PCRF):** PCRF es el elemento de red responsable de las políticas y normas de la función de carga, toma decisiones sobre cómo manejar los servicios en términos de calidad de los mismos, y proporciona control de políticas y de carga basado en decisiones de control de flujo de información provenientes del PDN-GW y en su caso también del S-GW.

<sup>5</sup> E-UTRAN: Evolved UMTS Terrestrial Radio Access (Red de Acceso de Radio Terrestre UMTS).

<sup>6</sup> EPC: Evolved Packet Core (Red de núcleo)

**Home Subscription Server (HSS):** El servidor de abonado HSS es el repositorio de datos de suscripción para todos los usuarios de la red, registra la ubicación del usuario a nivel de nodo de control de la red visitada. Se trata de un servidor de base de datos que se mantiene en el centro de las instalaciones del operador de origen y que puede ser consultado o modificado desde cualquiera de las entidades de control y gestión tales como MME; también almacena la identidad de cada uno de los P-GW que se encuentran activos.

### *1.1.3.2 Red de Acceso – EUTRAN*

En LTE la red de acceso es conocida como E-UTRAN, que no es otra cosa que el eNodeB, en pocas palabras la red de acceso está conformada únicamente por el Nodo B, el cual es una estación de radio base que está en control de todas las funciones de radio en la parte fija del sistema. Comúnmente los eNodeB se distribuyen a lo largo del área de cobertura de la red LTE, manteniéndose cerca de las antenas de radio.

### *1.1.3.3 Equipo de Usuario*

El equipo de usuario es el dispositivo final utilizado para establecer la comunicación con la red LTE a través de la interfaz de radio. Típicamente se trata de un dispositivo de mano tal como un teléfono inteligente o una tarjeta de datos. UE está conformado por dos entidades, que son el módulo de identificación del suscriptor universal (SIM<sup>7</sup>/USIM) el cual se utiliza para identificar y autenticar al usuario, y el equipo móvil como tal.

Funcionalmente UE es una plataforma para aplicaciones de comunicación, que interactúa con la red para el establecimiento, mantenimiento y la eliminación de la

comunicación vinculada a las necesidades de los usuarios finales.

## **1.1.4 Interfaces de red E-UTRAN**

La creación de una red independiente es uno de los objetivos claves de LTE, de hecho la auto-optimización de la red es de alta prioridad para los operadores de red ya que permite obtener el mejor rendimiento de la red en una manera costo-efectiva, sobre todo en los cambios de entorno de propagación de radio.

Por lo tanto el principio general para la red LTE es que las capas y los planos sean lógicamente independientes entre sí, y esto lo hacen a través de sus interfaces y protocolos.

**S1:** La interfaz S1 es la encargada de conectar el eNodeB al EPC o red de núcleo, se divide en dos interfaces, una para el plano de control S1-MME y el otro para el plano de usuario S1-U.

**X2:** La interfaz X2 es la encargada de interconectar eNodeBs entre sí, permite coordinar la interferencia entre celdas, proporcionar información sobre el estado de los recursos, la sobrecarga y la situación de tráfico entre diferentes eNodeBs.

Al igual que la interfaz S1, X2 tiene un plano de control y plano de usuario. En el plano de usuario se realiza la transferencia de datos de usuario entre eNodeBs a través del proceso denominado handover, en el cual los paquetes que han sido almacenados en el eNodeB anterior son intercambiados hacia el eNodeB nuevo.

Por otra parte, en el plano de control se realiza el control de la transferencia de paquetes IP que han sido enviados por parte del plano de usuario; además mediante la interfaz X2 del plano de control, los eNodeB pueden transferir información relacionada a la gestión de recursos de radio entre sus celdas vecinas.

## **1.1.8 Tecnología de Múltiple Antena**

A través de la historia y evolución de sistemas de comunicaciones móviles, la transmisión de las señales en medios inalámbricos ha sufrido de

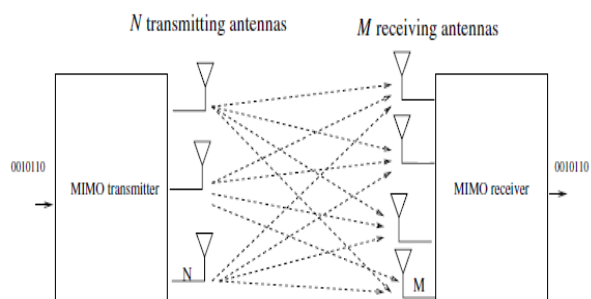
---

<sup>7</sup> **SIM:** Subscriber Identification Module: Módulos encargados de la suscripción de usuarios a redes tipo 3GPP.

diversos problemas que obstaculizan su correcta transmisión, ya sea por factores externos que se interponen en el medio de transmisión o por fenómenos físicos como la difracción, reflexión y principalmente la propagación multitrayectoria, la cual ha sido considerada como la mayor amenaza, ya que provoca que las señales que se han transmitido lleguen desfasadas y con atenuación, por ende provoca que la velocidad de transmisión se reduzca considerablemente. Ante este fenómeno se desarrolló la técnica basada en múltiples antenas MIMO (Multiple Input Multiple Output).

**MIMO (Multiple Input Multiple Output):** La técnica MIMO considerada como una de las principales herramientas de múltiple antena, ha sido desarrollada para utilizar las características del fenómeno de propagación multitrayectoria de un canal inalámbrico.

Esto se debe principalmente a que MIMO emplea múltiples antenas tanto en el receptor como transmisor y utiliza el efecto de múltiples trayectos debido a la diversidad de caminos existentes entre las antenas, en lugar de causar interferencias.



**Figura 4.** Funcionamiento MIMO

**Fuente:** Stefania Sesia, M. B. (2009). *LTE - the UMTS long term evolution: from theory to practice.* John Wiley & Sons LTd.

Básicamente un arreglo de antenas MIMO dispone de un transmisor con  $N_T$  antenas transmisoras distribuidas, el transmisor contiene un DSP (Digital Signal Processor) el cual se encarga de codificar el flujo de datos por cada usuario individual con una velocidad  $X$ ; por lo tanto  $N_T$  subflujos de las antenas tendrán una velocidad  $X/N_T$  cada uno.

De manera individual, cada subflujo es modulado y enviado por una antena diferente a través del canal inalámbrico en forma paralela. Todos los subflujos son enviados en la misma frecuencia y al mismo tiempo, es decir se realiza el envío de múltiples señales sincronizadas a la vez y por el mismo canal.

### 1.1.9 Ventajas LTE

Todas las características antes descritas contribuyen a que se pueda mencionar las ventajas que permite el sistema de comunicaciones LTE.

- Principalmente lo que más ha llamado la atención en comparación con las otras tecnologías móviles es la baja latencia (menor a 10 milisegundos) y alta tasa de velocidad que brinda LTE, siendo como mínimo 100 Mbps en el enlace downlink y 50 Mbps en uplink.
- Compatibilidad con otras tecnologías móviles ya existentes, asegurando la interconexión entre las mismas y extendiendo la actual cobertura debido a que es posible migrar a LTE a partir de tecnologías ya existentes.
- Arquitectura de red basada totalmente en el protocolo IP, por ende todos sus servicios utilizan conmutación de paquetes, permitiendo que el costo de los servicios que ofrecen los operadores móviles sea notablemente reducido.
- Permite que los usuarios de los smartphone compatibles con LTE naveguen en internet a velocidades superiores a las actuales, realicen videoconferencias y videollamadas con alta calidad en imagen y sonido.

### 1.1.10 Servicios LTE

En la era actual de la economía digital y las redes sociales, los operadores móviles se enfrentan a retos de la industria en constante evolución, el cambio de mercado y las demandas de los clientes son la principal motivación para el desarrollo de nuevos servicios y aplicaciones.

- **Dispositivos móviles:** dado que los dispositivos móviles, tales como teléfonos inteligentes, tablets o cámaras digitales son cada vez más accesibles, los consumidores están comprando más dispositivos en estos últimos días y añaden a ello la capacidad de LTE en mejorar aún más la conexión a internet móvil y enriquecer la experiencia del usuario.
- **Uso de aplicaciones:** el consumo mundial rápido de los teléfonos inteligentes ha cambiado completamente la forma de comunicación y uso de la Internet. Se ha entrado en una nueva fase de diversificar rápidamente el uso de teléfonos inteligentes, y la gente está en busca de aplicaciones en todos los sectores de la sociedad para mejorar su vida cotidiana. La demanda de nuevos servicios móviles podría potencialmente transformar todos los aspectos de la vida de la ciudad. Los usuarios finales creen que los servicios móviles pueden mejorar la satisfacción cuando se trata de actividades tales como ir de compras, comer en restaurantes y actividades de ocio.
- **Vídeo:** el video se reconoce como el servicio de LTE más importante, el rápido desarrollo en vídeo LTE permitirá a los usuarios disfrutar de contenidos de vídeo sin problemas con múltiples pantallas en cualquier lugar y en cualquier momento. Esto permitirá a los usuarios compartir sus momentos a través de los servicios de redes sociales, y la búsqueda de información en formato de vídeo más fácilmente. Es por esta razón que los diseños de los teléfonos inteligentes, tablets móviles y otros dispositivos son en base a una gran pantalla, lo cual ha impulsado en el actual mercado a que las personas tengan la intención de comprar tablets en lugar de computadoras de escritorio, debido a que el contenido de vídeo móvil tiene velocidades de bits más altas.
- **Consumidores:** LTE ofrece un alto rendimiento y se compara favorablemente con la banda ancha fija con la ventaja adicional de proporcionar la movilidad. Esto

tiene un impacto significativo en la experiencia del usuario y su satisfacción. Los usuarios pueden ver video en vivo al aire libre con los dispositivos móviles mediante el uso de LTE, y continuar para ver el vídeo cuando están en casa. Actualmente los operadores ya ofrecen IPTV en su red de banda ancha fija y podrán aprovechar su plataforma de IPTV ya existente para entregar el contenido de vídeo de alta calidad a sus suscriptores de LTE a través de servicios unicast y broadcast.

- **Empresa:** Muchos de los usuarios finales prefieren utilizar sus dispositivos para llevar a cabo ambas tareas personales y de negocios, tales como recibir o responder correos electrónicos, leer o editar documentos de la empresa, etc. Reconociendo la tendencia, las empresas están implementando políticas BYOD<sup>8</sup>, sobre la red LTE, ya que desde el móvil se alcanzarán velocidades comparables a las líneas de banda ancha actuales.
- **Casa:** LTE garantiza convergencia fijo-móvil para aplicaciones en tiempo real tales como VoIP, push-to-talk, mensajería mejorada con clips de vídeo, etc. Gracias a esta red de alta velocidad se podrá disfrutar de los juegos en red con mejor definición y mayores propiedades; ver televisión en HD y en 3D es otra posibilidad cierta con LTE.

## 2. INGENIERÍA DE PROYECTO

La Ingeniería de proyecto es un conjunto de procedimientos que se emplean para ejecutar el diseño de un determinado proyecto, su propósito es proporcionar las directrices y bases técnicas del proyecto.

### 2.1 PLANEACIÓN DE FRECUENCIAS

De acuerdo a las especificaciones descritas en el proyecto 3GPP (TS36.104-860 tabla 5.5-1 bandas de frecuencia E-UTRA) se muestra

---

<sup>8</sup> **BYOD:** Being your Own Device (Trae tu propio dispositivo).

claramente definido a LTE como un sistema que puede funcionar en diversas bandas de frecuencias con el fin de adaptarse a diferentes operadores en el mundo.

Según la resolución TEL-084-29-CONATEL-2012, mediante oficio SNT-2012-1537 de 07 de diciembre de 2012, el señor Secretario Nacional de Telecomunicaciones remitió para conocimiento y resolución de los señores miembros del CONATEL el informe Técnico-Jurídico elaborado por las Direcciones Generales de Gestión del Espectro Radioeléctrico y Jurídica de la SENATEL, en el cual se presentan la siguiente asignación de banda de frecuencia para servicios LTE.

**Tabla 1.** Bandas de frecuencia definidas para CNT EP.

**Fuente:** Banda de frecuencia AWS-CNT EP. Recuperado de

[http://www.conatel.gob.ec/site\\_conatel/images/stories/resolucionesconatel/2012/TEL-804-29-CONATEL-2012\\_.pdf](http://www.conatel.gob.ec/site_conatel/images/stories/resolucionesconatel/2012/TEL-804-29-CONATEL-2012_.pdf)

Banda	Frecuencia uplink	Frecuencia downlink	Ancho banda
4-AWS	1710-1730 MHz	2110-2130 MHz	20+20 MHz

## 2.1 PLANEACIÓN DE COBERTURA

Los operadores de servicios de telecomunicaciones se centran justamente en la calidad del servicio que ofrecen, y la cobertura es una parte importante de la calidad del servicio de un sistema. El objetivo de la planificación de redes de radio es equilibrar la cobertura, la capacidad, la calidad y el costo por lo que ninguno de ellos puede considerarse de forma aislada.

**Modelo de Canal:** Cuando una señal inalámbrica se desplaza desde un transmisor a un receptor se deduce múltiples caminos, la señal puede viajar directamente después de la línea de vista entre el transmisor y el receptor, puede rebotar en el suelo y llegar al receptor o puede ser reflejada por varios edificios en el camino hacia el receptor. Cuando estas copias de la misma señal llegan al receptor con retraso y atenuadas en base a la longitud de la trayectoria que han seguido y varios otros factores, se debe determinar un modelo de canal.

Los modelos de canal utilizados para LTE se definen en el 3GPP TS 36.101, estos modelos también son conocidos como perfil de retardo y son los siguientes:

**EPA<sup>9</sup>:** Definido para peatones, posee 7 componentes de trayectos múltiples, capacidad de ancho de banda de 5MHz, éste modelo de canal peatonal puede representar 3km/hora por UE.

**EVA<sup>10</sup>:** Modelo típico para usuarios en movilidad vehicular con 20MHz de ancho de banda y representa una velocidad por usuario desde 30Km/hora y superior a 120Km/hora.

**ETU<sup>11</sup>:** Es considerado como el modelo para ambientes urbanos y suburbanos. Tanto EVA como EPA tienen cada uno 9 componentes multitrayecto. Para el presente diseño se ha escogido el modelo de canal ETU, ya que es considerado para ambientes urbanos con velocidad de movilidad para peatones.

**Modelo de Propagación:** El modelo de propagación de radio juega un papel clave dentro del diseño de la red LTE, y en un ambiente outdoor los accidentes geográficos y obstáculos en el camino de propagación tales como edificios y árboles deben ser considerados.

<sup>9</sup> **EPA:** Extended Pedestrian A, modelo que se emplea en un entorno urbano con tamaños de celdas bastante pequeñas.

<sup>10</sup> **EVA:** Extended Vehicular A, modelo empleado para entorno vehicular.

<sup>11</sup> **ETU:** Extended Typical Urban, modelo típico para ambientes urbanos.

✓ **Modelo de propagación estándar SPM:**

El modelo de propagación estándar es un modelo especialmente usado dentro del rango de frecuencias entre 150MHz ~ 3500MHz, para distancias de 1Km a 20 km, y es muy adecuado para tecnologías como GSM900/1800, UMTS, CDMA2000, WiMAX y LTE, se basa en la siguiente fórmula:

$$L_{SPM} = K_1 + K_2 \lg(d) + K_3 \lg(H_{Tx\&ff}) + K_4 \text{Diffraction nLoss} + K_5 \lg(d) \lg(H_{Tx\&ff}) + K_6 H_{R\&ff} + K_{clutter} f(\text{clutter})$$

Basado en el model tuning realizado anteriormente para la red 3G-UMTS/HSPA+, se eligió a SPM como modelo de propagación para la planificación final de los sitios LTE, ya que cumple con la solicitud de CNT EP, la cual implica utilizar el mismo modelo de propagación de la red 3G-UMTS/HSPA+ bajo la banda AWS, con el fin de utilizar frecuencias similares.

## 2.2 PRESUPUESTO DEL ENLACE “LINK BUDGET”

El link budget es una forma de calificar el rendimiento de la transmisión, se resume como la contabilidad de todas las ganancias y pérdidas ocurridas a través del medio de transmisión, indica el desempeño que el nuevo sistema de radio LTE llevará a cabo cuando se implemente sobre las estaciones bases existentes diseñadas bajo tecnología UMTS/HSPA+. El propósito del link budget en la planificación de redes LTE es:

- Utilización de factores tales como la pérdida de penetración en edificios, pérdida de alimentación, ganancia de la antena, y el margen de interferencia de radio para el cálculo de todas las ganancias y pérdidas que afectarán la cobertura celular final.
- Obtener una estimación de pérdida máxima permitida, basada en la potencia de transmisión máxima del terminal y del eNodeB.

El análisis del Link Budget es distinto tanto para el enlace uplink y downlink, debido a que se debe considerar que la potencia máxima de radiación del UE y la ganancia de las antenas son menores para el enlace UL. El Link Budget downlink LTE tiene ciertas similitudes con HSPA+ y la pérdida máxima del trayecto es similar; mientras que en el enlace uplink el margen de interferencia es menor en LTE.

## 2.3 PLANIFICACIÓN DE LA CELDA

El sistema de comunicación móvil LTE está formado por varias celdas, las cuales constituyen la unidad básica de cobertura en que se divide un sistema celular, cada red celular necesita una planificación de celdas con el fin de asegurar la cobertura y evitar la interferencia.

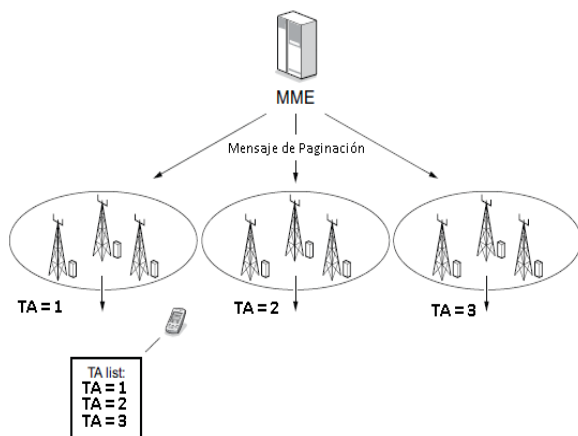
### 2.3.1 Planeación Tracking Área (Área de seguimiento)

Con el fin de determinar la ubicación del equipo de usuario móvil, el área de cobertura de la red LTE se divide en varias áreas de seguimiento TA, la cual es un grupo de celdas contiguas donde el usuario puede moverse libremente sin actualizar el MME.

El área de seguimiento está estrechamente ligada a la paginación, la misma que es utilizada para informar a los UE de que ha habido un cambio en la información del sistema, y a la vez todas estas actividades están controladas bajo la gestión del MME.

El tamaño de la zona de seguimiento puede ser optimizado en la planificación de la red, una amplia área de seguimiento es de beneficio para evitar la actualización de la misma; por otro lado, un área de seguimiento pequeño contribuye a reducir la carga de señalización de las llamadas por paquetes entrantes.



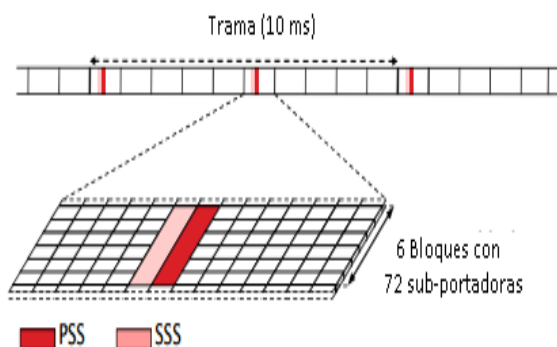


**Figura 5.** Concepto de Tracking Area.

**Fuente:** Toskala, H. H. (2009). *LTE for UMTS:OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access*. John Wiley & Sons Ltd.

### 2.3.2 Identificador físico de celda (PCI)

En el sistema LTE, el identificador físico de celda (PCI) se utiliza para diferenciar las señales de radio de diferentes celdas. PCI puede ser reutilizado cada 15 Km en toda la red, pero debe ser único en el área de cobertura para garantizar que el UE pueda distinguir diferentes celdas. El PCI es una combinación de dos señales de sincronización: señales de sincronización primarias PCI-ID (PSS<sup>12</sup>), y las señales de sincronización secundarias PCI-Grupo (SSS<sup>13</sup>).



**Figura 6.** Señales de sincronización PCI.

**Fuente:** Harish Vadada. (2011) *LTE PCI Planning*, Adaptado de [www.telecom-cloud.net](http://www.telecom-cloud.net).

El rango de PCI disponible es de 0 a 503, de los cuales cada celda tendrá su propio PCI con el fin de que el UE no se confunda al momento de conectarse a una celda.

**PCI Planning:** Para las consideraciones de diseño de la red LTE del clúster 2 se tienen los siguientes datos: Rango PCI: 0 a 503.

- En caso de que se tenga una cantidad de celdas que excedan el número de PCI, este tendrá que reutilizar cada 15Km, la clave es que las dos celdas que comparten un PCI no pueden estar geográficamente cerca o de lo contrario presentarán interferencia entre sí.
- Al usar el software U-NET para el diseño de la red, interviene un parámetro denominado TIER, el cual maneja el concepto que dado un cierto número de eNodeB se puede utilizar un solo PCI, en este caso el valor del TIER será 4.
- En el dominio de la frecuencia, cada celda tiene un desplazamiento diferente determinado por el tipo de módulo, existen dos tipos, módulo 6 el cual es usado para una sola antena, y módulo 3 que se utiliza para arreglos de múltiple antena (MIMO).
- Para el presente diseño se empleará el módulo 3 de PCI, que se denota como PCI<sub>mod3</sub>, y consiste en dividir las celdas para 3: celda#1 tiene PCI<sub>mod3</sub> = 0, celda#2 tiene PCI<sub>mod3</sub> = 1, celda#2 tiene PCI<sub>mod3</sub> = 2.
- Con esta asignación de PCI en el módulo 3, la señal de referencia (RS) de diferentes celdas no se superpone en términos de frecuencia; a la vez se debe evitar que las celdas con el mismo PCI<sub>mod3</sub> se ubiquen geográficamente cerca, con el fin de evitar interferencia.

## 3. DISEÑO DE LA RED LTE

Para el diseño de la red se ha utilizado el software de planeación Genex U-Net, orientado

<sup>12</sup> **PSS:** Primary Synchronisation Signal (Señal de sincronización primaria).

<sup>13</sup> **SSS:** Secondary Synchronisation Signal (Señal de sincronización secundaria).

a la planificación y diseño de redes de nueva generación, proporciona funciones integrales de planificación de la red, una arquitectura de software flexible, un sistema de información geográfica avanzada (SIG), recursos de datos enriquecidos, e interfaces de usuario fáciles de usar.

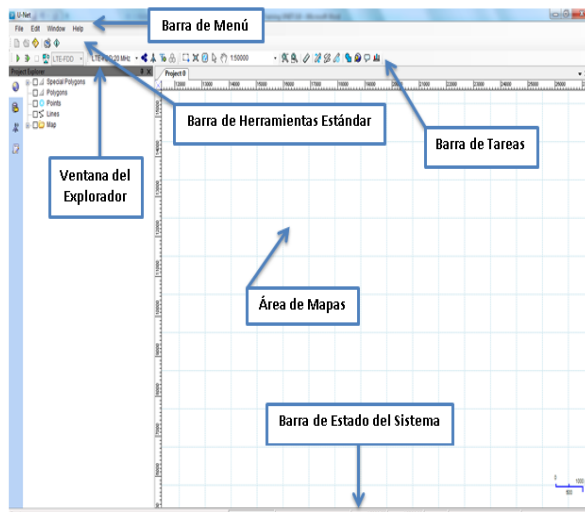


Figura 7. Ventana Principal U-Net.

Fuente: Adaptado de GENEX U-Net V300R008C00

### 3.1 PROCESO DE DISEÑO DE LA RED LTE EN U-NET

**Despliegue del sitio:** Después de especificar el área de despliegue de un sitio, el sitio puede ser rápidamente desarrollado en una plantilla de un mapa previamente cargado.

U-Net soporta la importación de datos de los mapas en capas y la importación rápida de los datos de los mapas. Además, U-Net obtiene automáticamente la información de la proyección.

**Calibración del modelo de propagación:** El modelo de propagación se puede ajustar manualmente o automáticamente en la base de los datos. El U-Net muestra el modelo en el sistema de información geográfica avanzada (SIG) para analizar el error en el cálculo basado en el modelo.

**Predicciones:** U-Net inicia la predicción después de importar el mapa y la configuración de datos de la red, modelo de servicio y modelo de propagación.

Mediante el análisis del resultado de la predicción, se evalúa el desempeño de la red.

**Capacidad de simulación:** Después de que los parámetros de tráfico se configuran y el mapa de tráfico se ha establecido de acuerdo con la planificación, el U-Net realiza el cálculo de simulación basado en el mapa del tráfico.

En la simulación de la capacidad, U-Net analiza el rendimiento de la celda y el usuario. Además, se analiza la cobertura de los canales comunes y canales de tráfico sobre la base de la carga de red específico proporcionado en los resultados del cálculo de simulación.

#### 1. Importar datos geográficos

El segundo paso después de la creación de un nuevo proyecto es importar los datos geográficos, en este caso el mapa correspondiente a la ciudad de Quito.

Se puede importar datos geográficos en varios formatos vectoriales o de cuadrícula y a la vez establecer el sistema de coordenadas, también se puede añadir puntos, líneas o polígonos para crear objetos vectoriales.

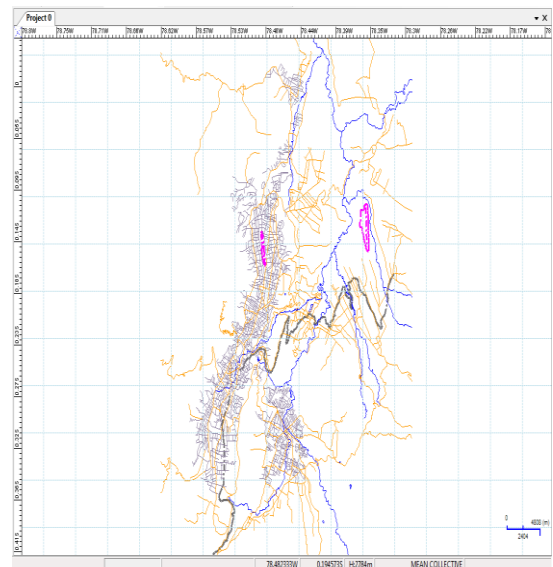


Figura 8. Importación del mapa.

Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

#### 2. Importar sitios y transceivers

La creación de sitios y transceivers representan el lugar en donde se ubicara cada nodo con sus respectivos parámetros. A continuación se

detalla el proceso de creación con la ayuda del software U-Net.

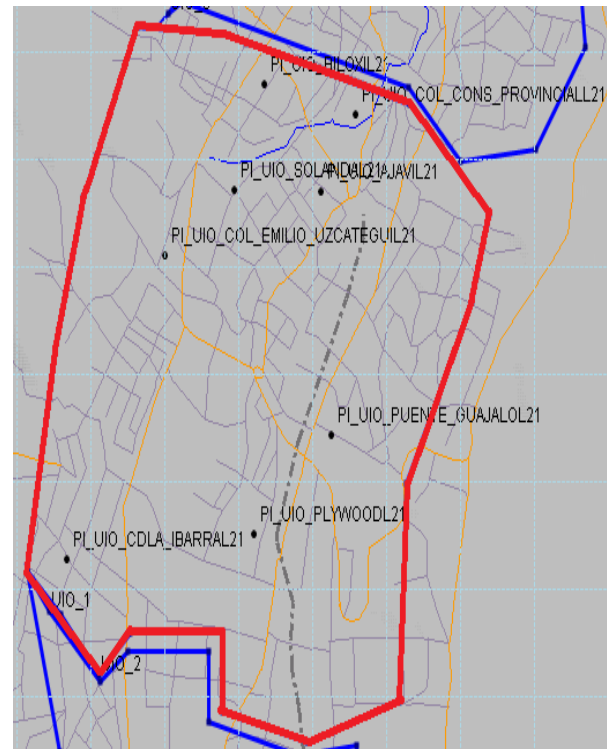
Field Mapping:				
Source	Site Name	Transceiver Name	Longitude	Latitude
Destination	Site Name	Transceiver Name	Longitude	Latitude
2	PI_UIO_AJAVIL21	PI_UIO_AJAVI_1	-78.53653	-0.26829
3	PI_UIO_AJAVIL21	PI_UIO_AJAVI_2	-78.53653	-0.26829
4	PI_UIO_AJAVIL21	PI_UIO_AJAVI_3	-78.53653	-0.26829
5	PI_UIO_BILOXIL21	PI_UIO_BILOXI_1	-78.54315	-0.25977
6	PI_UIO_BILOXIL21	PI_UIO_BILOXI_2	-78.54315	-0.25977
7	PI_UIO_BILOXIL21	PI_UIO_BILOXI_3	-78.54315	-0.25977
8	PI_UIO_CDLA_IBARRAL21	PI_UIO_CDLA_IBARRA_1	-78.56591	-0.29766
9	PI_UIO_CDLA_IBARRAL21	PI_UIO_CDLA_IBARRA_2	-78.56591	-0.29766
10	PI_UIO_CDLA_IBARRAL21	PI_UIO_CDLA_IBARRA_3	-78.56591	-0.29766
11	PI_UIO_COL_CONS_PROVINCIAL21	PI_UIO_COL_CONS_PROVINCIAL_1	-78.53262	-0.26208

**Figura 9.** Creación de sitios y transceivers.

**Fuente:** GENEX U-Net V300R008C00

Una vez que los sitios han sido cargados en el mapa del clúster 2, se puede iniciar con la configuración de los demás parámetros de diseño tales como:

- Configuración del modelo de propagación SPM
- Añadir dispositivos de red.
- Ajustes de parámetros de tráfico.
- Configuración del tipo de Modulación y Codificación MCS
- Configuración del tipo de servicio LTE-FDD
- Configuración del tipo de terminals
- Configuración de tipos de entorno
- Configuración del perfil de usuarios.
- Configuración de tipos de movilidad.
- Predicción del rendimiento de la red.



**Figura 10.** Visualización de sitios creados.

**Fuente:** GENEX U-Net V300R008C00

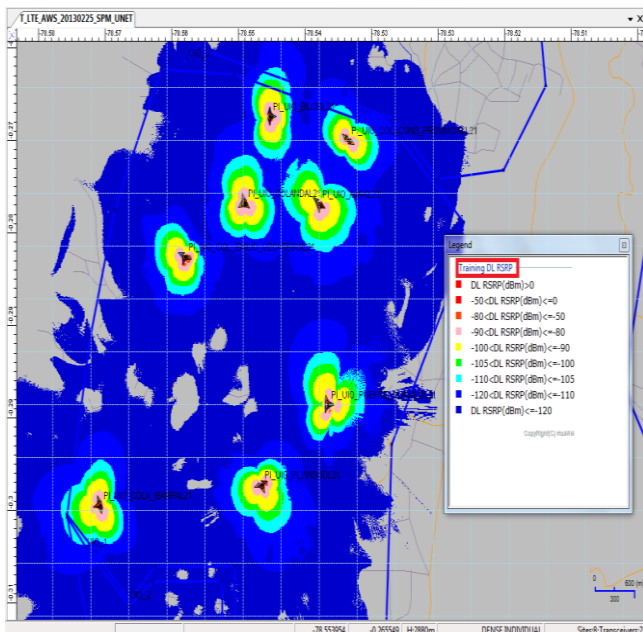
Una vez que se han configurado los parámetros anteriores se procede a verificar los resultados de la simulación y predicción.

Se han analizado varios casos de predicción como el DL RSRP, el cual es un indicador principal del análisis de cobertura, ya que se lo conoce como la potencia de referencia de la señal recibida, que se determina en una celda, a este indicador también se lo considera como el promedio lineal de las contribuciones de energía [W] por parte de los elementos que llevan información específica en la señal de referencia. Además el RSRP es considerado como uno de los parámetros de predicción más importantes ya que es medido por el UE para llevar a cabo la selección de las celdas con mejores niveles de potencia.

Según los resultados obtenidos se puede verificar la huella de cobertura obtenida mediante los niveles de recepción promedio de la señal de referencia de los usuarios, de esta manera según la leyenda se tiene una escala de las mejores condiciones hasta las peores, siendo un RSRP mayor o igual a 0 el máximo valor y

un RSRP menor a -120 dBm el peor, valor el cuál no se podría garantizar cobertura.

A continuación de las tonalidades en rojo, se tiene las mediciones tradicionales en las que se puede garantizar la cobertura, es decir a partir de los -90dBm hasta los -110 dBm, de tal manera que nuestros resultados son satisfactorios ya que los 8 sitios pertenecientes al clúster 2 se encuentran dentro del rango de garantía de cobertura, vale la pena recalcar que aunque en zonas limitadas también se puede observar que llega a cumplir con los estándares más altos de cobertura como es el caso del sitio COL\_EMILIO\_UZCATEGUI, PUENTE\_GUAJALO y PLYWOOD.



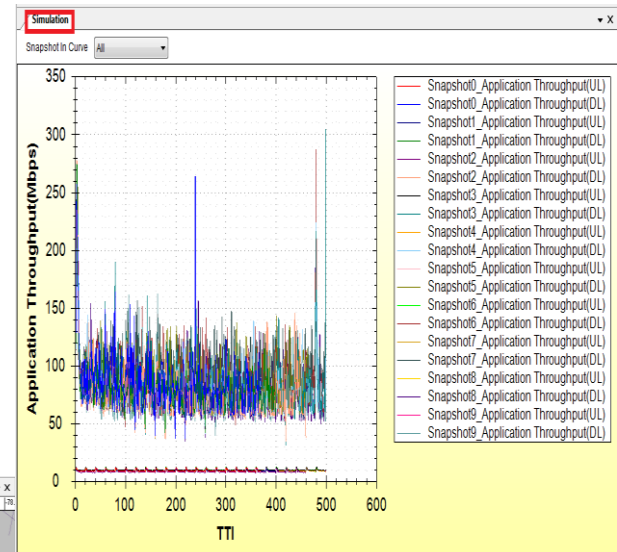
**Figura 11.** Resultados predicción DL RSRP.  
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00

#### Visualización resultados Simulación:

En la figura 12 se puede observar el resultado total de la simulación durante un intervalo de tiempo de transmisión de 500 TTI, se consideraron 10 simulaciones o snapshots los cuales han sido calculados para downlink y uplink.

Cabe recalcar que existen intervalos de tiempo durante la simulación en los cuales se tiene rendimientos muy buenos de hasta 300 Mbps, y el resto de tiempo prevaleciendo en un valor de 130 Mbps, valores los cuales se

encuentran dentro de los estándares de rendimiento y capacidad de transmisión de LTE.



**Figura 12.** Resultados simulación.  
Fuente: GENEX U-Net V300R008C00.

## 4. CONCLUSIONES

- Según el estudio teórico realizado previo al desarrollo del diseño, se pudo analizar que la tecnología LTE nace a partir de una gran evolución que han tenido los estándares de tecnología móvil de la 3GPP, cada eslabón ha hecho posible que se adquieran nuevas técnicas, principios de funcionamiento y arquitectura de red, lo cual hoy se ve reflejado en las características únicas y de máxima velocidad propias de LTE.
- No cabe duda que uno de los aspectos más importantes y sobre todo de mucha ayuda para el diseño de una red, es la ingeniería de proyecto, proceso mediante el cual se recopila toda la información concerniente a los nuevos requerimientos del proyecto, de tal manera que al momento de iniciar con el diseño se puede estructurar una serie de pasos ordenados.
- El software de predicción U-Net fue utilizado para crear los sitios y celdas, y configurar en ellos los parámetros de

cobertura, modelo de propagación, configuración de servicios, pérdidas de la señal, etc.; todo esto a través de la importación del mapa real de la ciudad de Quito, mediante el cual se pudo visualizar el relieve y determinar los puntos más críticos del comportamiento de la señal.

- Al igual que en el proceso de diseño, en la simulación se utilizó el software de predicción U-Net, a través del cual se crearon mapas de tráfico para analizar el comportamiento de cada uno de los servicios que fueron configurados en el proceso de diseño; todo esto fue posible a la capacidad en conjunto que tiene U-Net de generar resultados estadísticos.
- Los resultados obtenidos a través del software de predicción U-Net, tanto en la predicción como simulación, permitieron confirmar y asegurar que el usuario móvil en verdad experimentará la calidad de servicios LTE, debido a que los niveles de rendimiento que se obtuvieron son notablemente superiores a los de la red 3G/HSPA+.

## 5. RECOMENDACIONES

- Es de mucha importancia que se analicen las condiciones del entorno en las que se desarrollará el proyecto, los accidentes geográficos y obstáculos que se presentan en el camino de propagación tales como edificios y árboles deben ser considerados, ya que de estos factores depende la selección del modelo de canal y de propagación dentro de la planeación de cobertura.
- Dentro de los principales aspectos que se debe tener presente en cuanto a la configuración del sistema radiante son los parámetros de radio frecuencia, ya que su correcta configuración en el diseño, permitirá que al momento de ser implementado se aproveche al máximo la capacidad de las antenas, evitando que se produzcan interferencias con otros sectores.

- Se recomienda una correcta configuración de la planificación de la celda, tomando en cuenta los PCI, áreas de seguimiento y relación de vecindades; parámetros los cuales permiten que se diferencien las distintas señales de radio unas de otras y que se mantenga un seguimiento de los UE durante su conexión, una mala configuración de estos parámetros sería crucial dentro de la red, ya que se producirían interferencias y el rendimiento de la señal no sería óptimo.
- Si bien es cierto el software de predicción U-Net, es una herramienta completa que brinda múltiples aplicaciones, en el presente proyecto se centró en el diseño de una red LTE FDD, y se pudieron visualizar los resultados, pero para obtener un máximo beneficio, se recomienda que se realice una correcta interpretación de los mismos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- LTE for UMTS: OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access Edited by Harri Holma and Antti Toskala © 2009 John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-0-470-99401-6.
- Magdalena Nohrborg. LTE Overview. Obtenido el 25 de marzo de 2014 en <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>.
- LTE—the UMTS long term evolution: from theory to practice / Stefania Sesia, Matthew Baker, and Issam Toufik. © 2009 John Wiley & Sons Ltd.
- Theory and Applications of OFDM and CDMA: Wideband Wireless Communications by Henrik Schulze, Christian Lueders. ISBN: 978-0-470-85069-5.
- LTE for 4G Mobile Broad Band Air Interface Technologies and Performance by Farooq Khan, Published in USA by Cambridge University Press, New York.
- 3GPP TS 29.188 V9.4.0. Mobility Management Entity (MME) – Visitor

Location Register (VLR) SGs interface specification (Release 9).

- 3GPP TS 24.301 V8.1.0. Non-Access-Stratum (NAS) protocol for Evolved Packet System (EPS). (Release 8).
- LTE for UMTS: OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access (p. 30) Edited by Harri Holma and Antti Toskala © 2009 John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-0-470-99401-6

### **Diana Carolina Alvarez Paredes**



Nacida en Ambato, Ecuador, el 18 de Noviembre de 1990.

Realizó sus estudios secundarios en el Colegio: “República del Ecuador” de Otavalo, obteniendo el título de bachiller en Físico Matemático.

Sus estudios superiores de ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación los realizó en la Universidad Técnica del Norte en Ibarra.

# "Design of a 4G network (Long Term Evolution) in the Cluster 2 of Quito for the CNT EP. Operator"

Alvarez Paredes Diana Carolina  
dian.alvarez1990@gmail.com  
Universidad Técnica del Norte

## ABSTRACT

*This article aims to show first a summary of the main features of LTE, as well as a short analysis of the steps and requirements for the design of a communications network under the 3GPP LTE standard in the cluster 2 to south of the Quito city. Finally the behavior and functionality of the network under predictions and simulation analysis.*

## 1. THEORETICAL FOUNDATIONS

Today the world of telecommunications has evolved by leaps and bounds, several key points have been developed, but there is no doubt that cell technology has been the primary, because there is a great demand from users, which with the passage of time today just are not content with having cell phones for voice and data, but looking for better applications faster.

### 1.1 LONG TERM EVOLUTION LTE

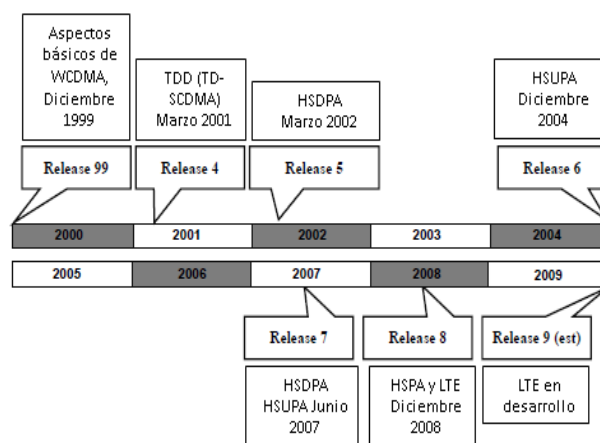
LTE was created to meet the demands of users in terms of services and high-speed applications, since whenever mobile devices are designed with higher capacities and performance, they are the main attraction for users, which through this new high-speed network can fully enjoy this new experience in mobile technology.

LTE promises consumers a new level of mobile broadband access while achieving ensure that network operators achieve greater operational efficiency and cost reduction service, offering high speed data transmission with lower latency

packet compared with previous mobile technologies.

### 5.1.1 Brief historical account of LTE

LTE currently stands at the pinnacle of evolution to 3GPP, however as shown in Figure 1, it is important to assess the evolutionary process by which they passed mobile technologies across multiple versions or releases to reach LTE ; however LTE standardization does not mean that further development of previous radio access technologies in 3GPP has ceased, including improvement of UMTS with new versions still in 3GPP specifications, these improvements compatible with previous versions allow network operators have invested heavily in UMTS technology, generate new revenue while still providing service to its current subscribers using existing terminals.



**Figura 4.** Line evolution in time of the 3GPP standards.  
**Fuente:** Toskala, H. H. (2009). *LTE for UMTS: OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access*. John Wiley & Sons Ltd.

But the peculiar thing is that LTE was designed from the beginning with the goal of building

long-term technology radio access, under the assumption that all services would be based on packet switching, instead of following the model switching circuits of the above systems.

### 1.1.2 Fundamentals of LTE technology

For years both researchers and providers of telecommunications services, have worked in the technical evolution of mobile networks, establishing specific parameters that have each link in the evolution has its own uniqueness, establishing different protocols, network architectures, forms of media access and transmission techniques, all with a view to achieving a more efficient integration of services and applications that can offer the fourth generation mobile network.

The adoption of a multicarrier multiple access approach to LTE, was one of the most important parameters were chosen, then after this proposal, the choice of multiple access schemes was conducted in December 2005 by the 3GPP, concluding that OFDMA multiple access technique is selected for the downlink and receiving data; while SC-FDMA for uplink or sending information. Both schemes work in the frequency domain in order to provide flexibility to the LTE system.

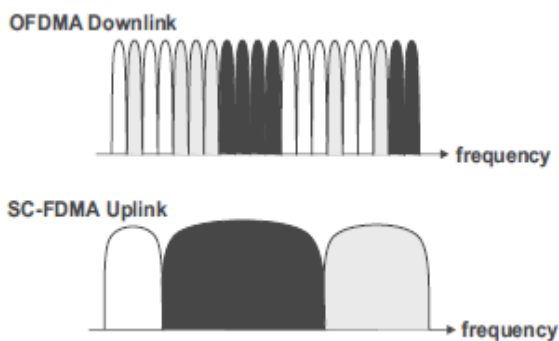


Figura 5. Frequency domain multiple access technology LTE.

Fuente: Stefania Sesia, M. B. (2009). *LTE - the UMTS long term evolution: from theory to practice*. John Wiley & Sons LTd.

### Orthogonal Frequency Division Multiplexing OFDMA:

It is based on the OFDM access technique, in order to provide a flexible multiple access scheme. OFDM divides the available bandwidth for signal transmission on several subcarriers narrowband, so that they are mutually orthogonal, so that each symbol is transmitted in parallel do several symbols simultaneously and overlapping.

### Single Carrier Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access SC-FDMA:

Combines the features of OFDM, that is divided bandwidth transmission on multiple parallel sub-carriers, maintaining orthogonality among them, but unlike OFDMA, where all data symbols are modulated independently for each subcarrier, in SC-FDMA the modulated signal on a subcarrier is given a linear combination of symbols gives all data transmitted at the same instant of time, so that in each symbol period all subcarriers to transmit a SC-FDMA signal component carrying a each data symbol modulated, this provides a SC-FDMA owned one major carrier 3GPP principle which uses SC-FDMA for uplink multiple access LTE.

### 1.1.3 LTE System Architecture

The general network architecture for 3GPP consists of the UE and network infrastructure that is logically divided into an access network E-UTRAN and Core Network or Core EPC.

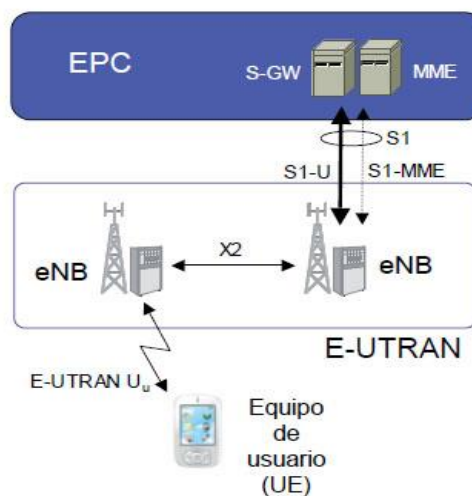


Figura 6. LTE Architecture



**Fuente:** LTE Architecture. Copyright © 2010 Huawei Technologies Co., Ltd.

### ***1.1.3.1 Evolved Packet Core***

The network core or backbone, is the manager of the system to perform access control to the cellular network, user authentication, user mobility management, interconnection arrangements with other networks as well as user control services end. Its main logical nodes are:

**Mobility Management Entity (MME):** The mobility management entity LTE network is responsible for managing the access of user terminals via E-UTRAN network, its operation is based on each user registered on the network E-UTRAN MME assigns an entity that meets the same authentication and security.

**Serving Gateway (S-GW):** Service Gateway S-GW, is responsible for the organization of packet traffic in downlink, because meanwhile the eNodeB is responsible for the traffic of packets in uplink. All user IP packets are transferred via S-GW, which serves as the local point of carrier mobility data when the UE moves between eNodeB; also retains information about the carrier when the UE is in idle state.

**Packet Data Network Gateway (PDN-GW):** PDN-GW is the edge router between the core network and packet networks external data; ie acts as a gateway between a network and another, like S-GW, PDN-GW is kept on the premises of the operator in a centralized location, in which each user since it was recorded in the LTE network is assigned at least one PDN-WG.

Its main function is to assign the IP address to the UE, which uses it to communicate with other IP hosts on external networks, such as the Internet.

**Policy Control and Charging Rules Function (PCRF):** PCRF is the network element responsible for the policies and rules of the charging function, makes decisions on how to

manage services in terms of quality of them, and provides policy control and charging control decisions based on information flow from the PDN-GW and if also the S-GW.

**Home Subscription Server (HSS):** The subscriber server HSS is the subscription data repository for all network users, track user location node-level control of the visited network. It is a database server that stays in the center of the operator's premises of origin and can be accessed or modified from any of the control and management entities such as MME; also stores the identity of each of the P-GW that are active.

### ***1.1.3.2 Access Network – EUTRAN***

In LTE access network is known as E-UTRAN, which is nothing but the eNodeB, in short the access network is formed only by the Node B, which is a radio base station that is in control all radio functions in the fixed part of the system. Commonly eNodeB are distributed throughout the coverage area of the LTE network, keeping close to the radio antennas.

### ***1.1.3.3 User Equipment***

User equipment is used for the end device to communicate with the LTE network through the radio interface. Typically it is a handheld device such as a smartphone or a data card. EU consists of two entities, which are the universal identity module (SIM / USIM) which is used to identify and authenticate the user and the mobile device itself.

Functionally EU is a platform for communication applications, which interacts with the network for the establishment, maintenance and disposal of communication linked to the needs of end users.

## **1.1.4 E-UTRAN Network Interfaces**

The creation of an independent network is one of the key objectives of LTE, indeed self-optimizing network is a high priority for network operators and giving the best network performance in a cost-effective manner,

especially changes in radio propagation environment.

Therefore the general principle for the LTE network is that the layers and planes are logically independent of each other, and this is done through their interfaces and protocols.

**S1:** The S1 interface is responsible for connecting the eNodeB and the EPC core network is divided into two interfaces, one for the S1-MME plane control and the other for the user plane S1-U.

**X2:** The X2 interface is responsible for eNodeBs interconnect with each other, allowing inter-cell interference coordination, provide information on the status of resources, the overhead and the traffic situation between different eNodeBs.

Like the S1 interface, X2 is a control plane and user plane. In the user plane transfer of user data between the eNodeBs via process called handover, in which the packets that have been stored in the above is performed eNodeB are exchanged to the new eNodeB.

Moreover, in the control plane control IP packet transfer that have been sent by the user plane is performed; X2 interface also through the control plane, the eNodeB can transfer information relating to the management of radio resources among its neighboring cells.

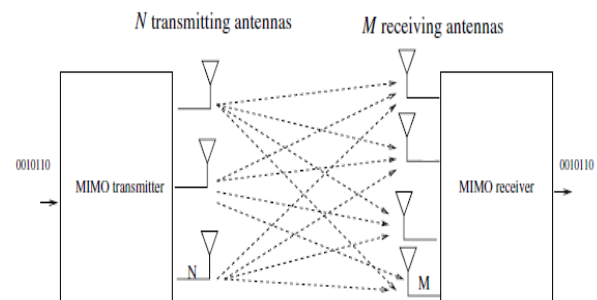
### 1.1.8 Multiple Antenna Technology

Through the history and evolution of mobile communication systems, the transmission of signals in wireless media has suffered from various problems hindering its successful transmission, either by external factors that stand in the transmission medium or physical phenomena as diffraction, reflection and especially the multipath propagation, which has been regarded as the greatest threat as causes the signals to be transmitted arrive out of phase and attenuation, thereby causing the transmission rate is reduced considerably. Faced with this phenomenon technique based on multi-antenna MIMO (Multiple Input Multiple Output) was developed.

### MIMO (Multiple Input Multiple Output):

The MIMO technique considered as one of the main tools of multiple antenna has been developed to use the features of the phenomenon of multipath propagation of a wireless channel.

This is mainly due to MIMO uses multiple antennas at both transmitter and receiver and uses the multipath effect due to the diversity of paths between antennas, rather than causing interference.



**Figura 4.** MIMO Operation

**Fuente:** Stefania Sesia, M. B. (2009). *LTE - the UMTS long term evolution: from theory to practice*. John Wiley & Sons LTd.

Basically a MIMO antenna array comprises a transmitter with distributed transmit antennas, the transmitter contains a DSP (Digital Signal Processor) which is responsible for coding the data stream for each individual user with speed; substreams thus have a speed antennas each.

Individually, each substream is modulated and sent by a different antenna through the wireless channel in parallel. All substreams are sent on the same frequency and at the same time, that is synchronized sending multiple signals simultaneously and over the same channel is performed.

### 1.1.9 Advantages LTE

All the features described above can contribute to mention the advantages that enable LTE communications system.

- Mainly what has attracted attention as compared to other mobile technologies is low latency (less than 10 milliseconds) and high rate of speed provided LTE, with at

least 100 Mbps on the downlink and 50 Mbps uplink.

- Compatibility with existing mobile technologies, ensuring interconnection therebetween and extending the current coverage because you can migrate to LTE from existing technologies.
- Network architecture based entirely on the IP protocol, hence its services using packet switching, allowing the cost of the services offered by mobile operators is noticeably reduced.
- Allows users compatible with LTE smartphone operating in internet at speeds higher than today, video conferencing and video calls made with high quality picture and sound.

#### 1.1.10 LTE Services

In the current era of the digital economy and social networks, mobile operators are facing challenges of evolving industry, changing market and customer demands are the main motivation for the development of new services and applications.

- **Mobile Devices:** Because mobile devices such as smartphones, tablets or digital cameras are becoming more accessible, consumers are buying more devices these past few days and add to it the ability to LTE in improving the internet connection even more Mobile and enrich the user experience.
- **Using applications:** rapid global consumption of smartphones has completely changed the way of communication and Internet use. It has entered a new phase of rapidly diversifying the use of smart phones, and people are looking for applications in all sectors of society to improve their daily lives. The demand for new mobile services could potentially transform all aspects of city life. End users believe that mobile services can improve satisfaction when it comes to activities such as shopping, eating out and entertainment.

- **Vídeo:** the video is recognized as the most important LTE service, rapid development in video LTE will allow users to enjoy video content seamlessly with multiple screens anywhere and anytime. This will allow users to share their moments through social networking services, and search for information in video format easily. It is for this reason that the designs of smartphones, mobile tablets and other devices are based on a large screen, which has driven in the current market to people intending to buy tablets instead of desktops, because the mobile video content has higher bit rates.
- **Consumers:** LTE offers high performance and compares favorably with fixed broadband with the added advantage of providing mobility. This has a significant impact on the user experience and satisfaction. Users can view live video outdoor with mobile devices using LTE, and continue to watch the video when they are at home. Currently operators already offer IPTV in its fixed broadband network and will benefit their existing IPTV platform to deliver video content to their subscribers high quality LTE via unicast and broadcast services.
- **Enterprise:** Many end users prefer to use their devices to perform both personal and business tasks, such as receiving or reply emails, read or edit business documents, etc. Recognizing the trend, companies are implementing BYOD policies on the LTE network as from mobile lines comparable to current broadband speeds will be attained.
- **House:** LTE fixed-mobile convergence guarantees for real-time applications such as VoIP, push-to-talk, video clips enhanced messaging, etc. With this high-speed network will be able to enjoy network games with better definition and major properties; watch TV in HD and 3D is another real possibility with LTE.

## 6. ENGINEERING PROJECT

The engineering project is a set of procedures used to execute the design of a project, its purpose is to provide guidelines and technical basis of the project.

## 2.1 FREQUENCY PLANNING

According to the specifications described in 3GPP (Table 5.5-1 TS36.104-860 frequency bands E-UTRA) is shown clearly defined LTE as a system that can operate in various frequency bands to suit different operators worldwide.

According to the order TEL-084-29-CONATEL-2012, by official SNT-2012 to 1537 of December 7, 2012, Mr. Secretary National Telecommunications referred for consideration and resolution of the Members of the Technical-Legal CONATEL report drawn by DGs Spectrum Management and Law SENATEL, in which the following allocation of frequency band for LTE services are presented.

**Tabla 1.** Frequency bands for CNT EP.

**Fuente:** Frequency band AWS-CNT EP. Obtained from: [http://www.conatel.gob.ec/site\\_conatel/images/stories/resolucionesconatel/2012/TEL-804-29-CONATEL-2012\\_.pdf](http://www.conatel.gob.ec/site_conatel/images/stories/resolucionesconatel/2012/TEL-804-29-CONATEL-2012_.pdf)

Band	Frequency uplink	Frequency downlink	Bandwidth
4-AWS	1710-1730 MHz	2110-2130 MHz	20+20 MHz

## 2.1 PLANNING COVERAGE

The telecommunications services operators focus just on the quality of service offered, and coverage is an important part of the service quality of a system. The aim of the radio network planning is to balance the coverage, capacity, quality and cost so none of them can be considered in isolation.

**Channel Model:** When a wireless signal travels from a transmitter to a receiver multipath follows, the signal can travel directly after the line of sight between the transmitter and receiver, can bounce off the ground and reach the receiver or can be reflected by several buildings on the way to the receiver. When these

copies of the same signal arrive at the receiver delayed and attenuated based on the length of the path followed and several other factors, determine channel model.

Channel models used to LTE are defined in 3GPP TS 36 101, these models are also known as delay profile and are:

**EPA<sup>14</sup>:** Defined pedestrian has 7 multipath components, capacity 5MHz bandwidth, the channel model can represent pedestrian 3km / hour EU.

**EVA<sup>15</sup>:** Typical model for vehicular mobility users with 20MHz bandwidth and user represents a speed from 30 km / h and higher than 120Km / h.

**ETU<sup>16</sup>:** It is regarded as the model for urban and suburban environments. EPA have both EVA as each multipath components September 1. For the present design has been chosen ETU channel model, since it is considered to urban environments pedestrian speed mobility.

**Propagation model:** The model radio propagation plays a key role in the design of the LTE network, and in an environment outdoor landforms and obstacles in the propagation path such as buildings and trees should be considered.

### ✓ Standard Propagation Model SPM:

The standard model spread is a model used especially within the range of frequencies between 150MHz ~ 3500MHz, for distances of 1 km to 20 km, and is very suitable for technologies such as GSM900 / 1800, UMTS, CDMA2000, WiMAX and LTE, is based on the following formula:

$$L_{SPM} = K_1 + K_2 \lg(d) + K_3 \lg(H_{Tx\theta ff}) + K_4 \text{Diffraction } n_{Loss} + K_5 \lg(d) \lg(H_{Tx\theta ff}) + K_6 H_{R\theta ff} + K_{clutter} f(\text{clutter})$$

Based on the model tuning was done previously for 3G-UMTS / HSPA +, SPM was chosen as propagation model for the final planning LTE sites as

<sup>14</sup> EPA: Extended Pedestrian A.

<sup>15</sup> EVA: Extended Vehicular A.

<sup>16</sup> ETU: Extended Typical Urban.

they comply with the request of CNT EP, which involves using the same model propagation 3G-UMTS / HSPA + band under the AWS, to use similar frequencies.

## 2.2 LINK BUDGET

The link budget is a way to qualify the transmission performance is summarized as accounting of all profits and losses incurred through the transmission medium, indicates the performance that the new radio system LTE take place when implemented on existing base stations designed under UMTS / HSPA + technology. The purpose of the link budget planning LTE network is:

- Using factors such as building penetration loss, loss of power, antenna gain, and radio interference margin for the calculation of all profits and losses that affect the final cell coverage. Obtener una estimación de pérdida máxima permitida, basada en la potencia de transmisión máxima del terminal y del eNodeB.
- Analysis of Link Budget is different for both uplink and downlink link, because we must consider that the maximum radiation power of EU and antenna gain are lower for the UL link. The Link Budget downlink LTE has certain similarities with HSPA + and the maximum path loss is similar; while the link uplink interference allowance is smaller in LTE.

## 2.4 CELL PLANNING

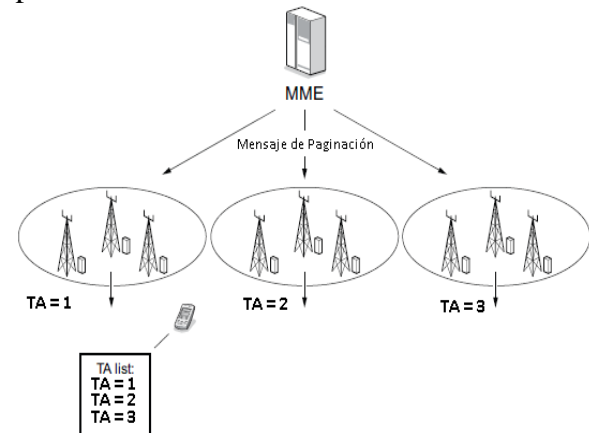
The LTE mobile communication system is formed by several cells, which are the basic unit of coverage in a cellular system, each cellular network needs a cell planning to ensure coverage and avoid interference is divided.

**2.3.1 Tracking Área Planning:** In order to determine the location of mobile user equipment, the coverage area of the LTE network is divided into several areas of monitoring TA, which is a group of contiguous

cells where the user can move freely without updating the MME.

The monitoring area is closely linked to the page, the same that is used to inform the EU that has been a change in the system information, while all these activities are controlled under the management of MME.

The size of the monitoring area can be optimized in the planning of the network, a wide area monitoring is beneficial to avoid updating the same; on the other hand, a small tracking area contributes to reduce the burden of signaling for calls incoming packets.

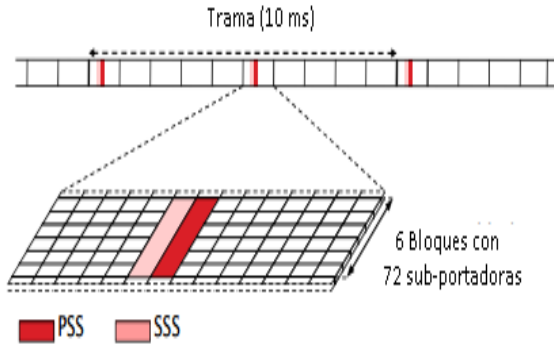


**Figura 5.** Tracking Area.

**Fuente:** Toskala, H. H. (2009). *LTE for UMTS: OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access*. John Wiley & Sons Ltd.

## 2.3.3 Physical Cell Identifier (PCI)

In the LTE system, physical cell identifier (PCI) is used to differentiate the signals of different radio cells. PCI can be reused every 15 Km across the network, but must be unique within the coverage area to ensure that the EU can distinguish different cells. PCI is a combination of two synchronization signals: primary synchronization signals PCI-ID (PSS) and secondary synchronization signals PCI-Group (SSS).



**Figura 6.** Synchronization signals PCI.

**Fuente:** Harish Vadada. (2011) *LTE PCI Planning*, Adaptado de [www.telecom-cloud.net](http://www.telecom-cloud.net).

The PCI range available is 0-503, of which each cell will have its own PCI to the EU is not confused when connected to a cell.

**PCI Planning:** For design considerations LTE network cluster 2 have the following data: PCI Range: 0-503.

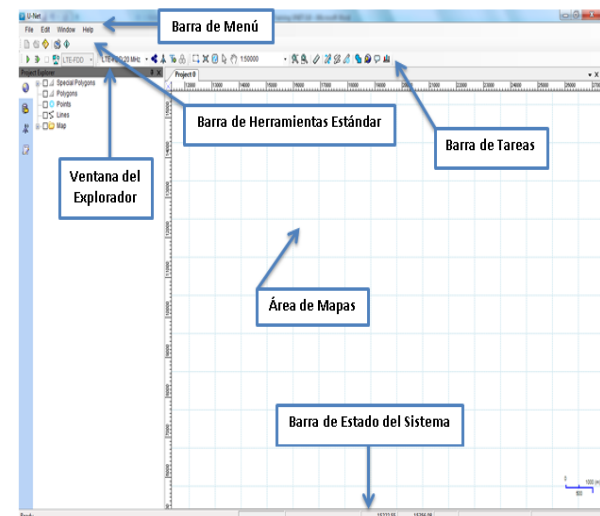
If a quantity of cells that exceed the number of PCI is taken, this will have to reuse each 15Km, the key is that the two cells sharing a PCI can not be geographically close or otherwise interference presented together.

- When using the U-NET software for network design, involving a parameter called TIER, which handles the concept that given a certain number of eNodeB can use a single PCI, in this case the value will be 4 TIER.
- In the frequency domain, each cell has a different displacement determined by the type of module, there are two types, module 6 which is used for a single antenna and module 3 which is used to arrange multiple antenna (MIMO) .
- For this design PCI module 3, denoted as PCImod3, and consists in dividing cells to be used 3: cell # 1 has  $PCImod3 = 0$ , cell # 2 has  $PCImod3 = 1$ , cell # 3 has  $PCImod3 = 2$ .
- With this assignment of PCI in Module 3, the reference signal (RS) of different cells do not overlap in terms of frequency; both must prevent the cells with the same PCImod3 are

located geographically close, in order to avoid interference.

## 7. LTE NETWORK DESIGN

For the design of the network has been used planning software Genex U-Net-oriented planning and design of new generation networks, provides comprehensive functions of network planning, flexible software architecture, geographic information system advanced (GIS), resource rich data, and user interfaces easy to use.



**Figura 7.** Main Window U-Net.

**Fuente:** Adaptado de GENEX U-Net V300R008C00

### 7.1 PROCESS NETWORK DESIGN IN U-NET

**Site Deployment:** After specifying the deployment area of a site, the site can be quickly developed into a template map preloaded. U-Net supports importing map data layers and rapid import map data. In addition, U-Net automatically obtains projection information.

**Propagation model calibration:** The propagation model can be adjusted manually or automatically on the basis of the data. The U-Net shows the model in advanced geographic information system (GIS) to analyze the error in the calculation based on the model.

**Prediction:** U-Net starts after importing prediction map and configuration of network data, service model and propagation model.

By analyzing the results of prediction, the network performance is evaluated.

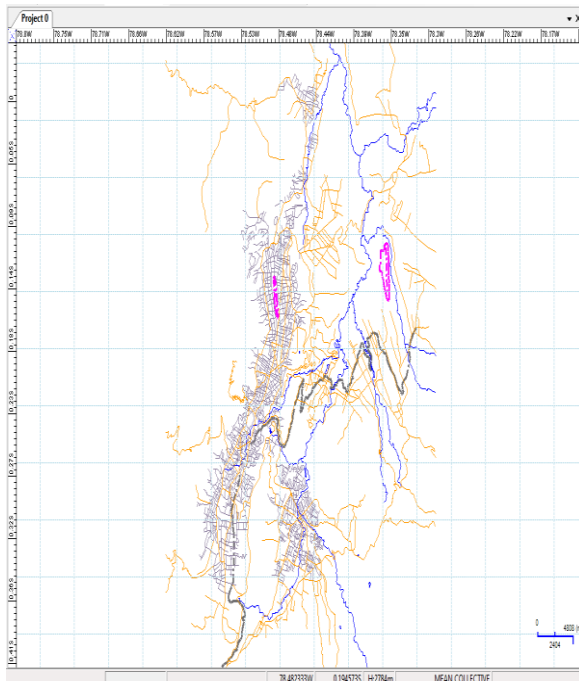
**Simulation capabilities:** After the traffic parameters are configured and traffic map has been established in accordance with the planning, U-Net calculates based simulation traffic map.

In the simulation capacity, U-Net analyzes the performance of the cell and the user. Furthermore, the coverage of common channels and traffic channels based on specific network load provided in the simulation calculation results is analyzed.

### 3. Import Geographic Data

The second step after creating a new project is to import geographic data, in this case corresponding to the city of Quito map.

You can import vector geographic data in various formats or grid while establishing the coordinate system, you can also add points, lines or polygons to create vector objects.



**Figura 8.** Import Map

**Fuente:** GENEX U-Net V300R008C00

### 4. Import sites and transceivers

Creating sites and transceivers represent the place where each node with their respective parameters was located. Following the creation process with the help of U-Net software is detailed.

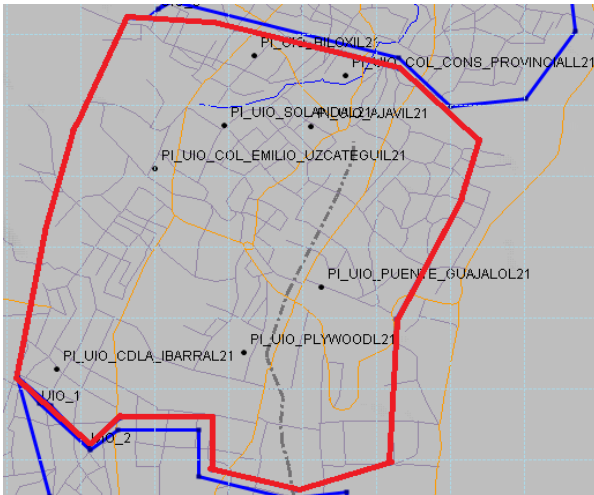
Field Mapping:				
Source	Site Name	Transceiver Name	Longitude	Latitude
Destination	Site Name	Transceiver Name	Longitude	Latitude
2	PI_UIO_AJAVIL21	PI_UIO_AJAVI_1	-78.53653	-0.26829
3	PI_UIO_AJAVIL21	PI_UIO_AJAVI_2	-78.53653	-0.26829
4	PI_UIO_AJAVIL21	PI_UIO_AJAVI_3	-78.53653	-0.26829
5	PI_UIO_BILOXIL21	PI_UIO_BILOXI_1	-78.54315	-0.25977
6	PI_UIO_BILOXIL21	PI_UIO_BILOXI_2	-78.54315	-0.25977
7	PI_UIO_BILOXIL21	PI_UIO_BILOXI_3	-78.54315	-0.25977
8	PI_UIO_CDLA_IBARRAL21	PI_UIO_CDLA_IBARRA_1	-78.56591	-0.29766
9	PI_UIO_CDLA_IBARRAL21	PI_UIO_CDLA_IBARRA_2	-78.56591	-0.29766
10	PI_UIO_CDLA_IBARRAL21	PI_UIO_CDLA_IBARRA_3	-78.56591	-0.29766
11	PI_UIO_COL_CONS_PROVINCIAL21	PI_UIO_COL_CONS_PROVINCIAL_1	-78.53262	-0.26208

**Figura 9.** Create sites and transceivers.

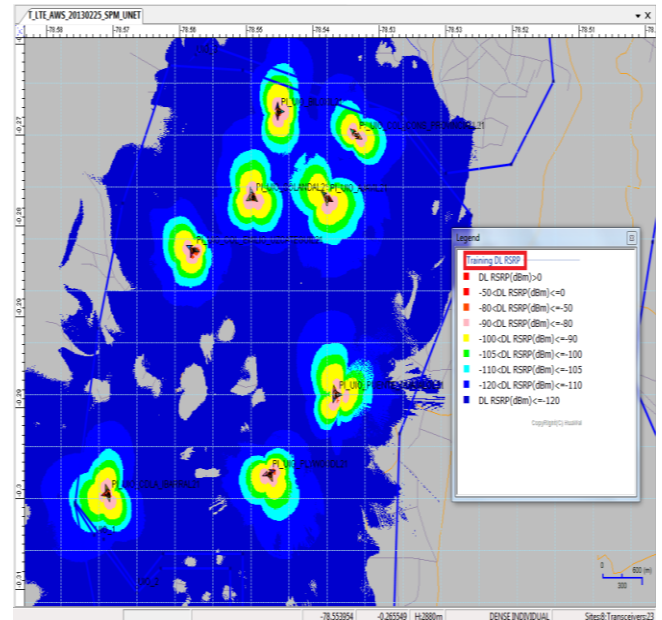
**Fuente:** GENEX U-Net V300R008C00

Once the sites have been loaded in the map of the cluster 2, it can start with the configuration of the other design parameters such as:

- Configuration propagation model SPM
- Add network devices.
- Adjustments of traffic parameters.
- Setting the type of Modulation and Coding MCS
- Set the service type LTE-FDD
- Setting the type of terminals
- Configuring types of environment
- User Profile Settings.
- Configuring types of mobility.
- Prediction of network performance.



**Figura 10.** Viewing sites created.  
**Fuente:** GENEX U-Net V300R008C00



**Figura 11.** Results prediction DL RSRP.  
**Fuente:** GENEX U-Net V300R008C00

Once you have set the above parameters are necessary to verify the results of the simulation and prediction.

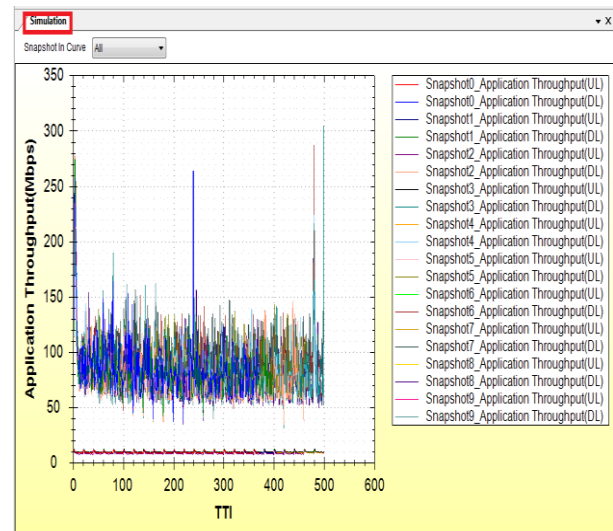
We analyzed several cases prediction as DL RSRP, which is a primary indicator of coverage analysis as it is known as the reference power of the received signal, which is determined in a cell, this indicator also considered as the average linear energy contributions [W] by carrying specific information elements in the reference signal. Besides the RSRP is considered one of the most important predictive parameters as measured by the UE to perform the selection of cells with higher levels of power.

According to the results can be verified footprint coverage obtained by averaging levels receipt of the reference signal users, so according to legend is scaled in the best conditions to the worst, being more RSRP or 0, the maximum and less than -120 dBm RSRP worst, the value which could not be guaranteed coverage.

Then red hues, have traditional measurements which can ensure coverage, ie from the -110 dBm to -90dBm, so that our results are satisfactory since the 8 sites belonging the cluster 2 are within the range of warranty coverage, it is worth noting that although in limited areas can also be observed that comes to meet the highest standards of coverage such as site COL\_EMILIO\_UZCATEGUI, PUENTE\_GUAJALO and PLYWOOD.

**Simulation results display:**

In Figure 12 shows the total simulation result for a transmission time interval TTI 500 10 simulations or snapshots which have been calculated for downlink and uplink considered. It should be noted that there are time intervals during the simulation which has very good yields of up to 300 Mbps, and the rest of time prevailing in a value of 130 Mbps, values which are within the standards of performance and capacity LTE transmission.



**Figura 12.** Simulation Results  
**Fuente:** GENEX U-Net V300R008C00.



## 8. CONCLUSIONS

- According to the theoretical study prior to the development of the design done, we could analyze the LTE technology born from a great developments that have taken standards 3GPP mobile technology, each link has made it possible to acquire new techniques, principles operating and network architecture, which is reflected in today's unique characteristics and LTE own maximum speed.
- There is no doubt that one of the most important and especially very helpful for network design, engineering aspects of the project is, the process by which all information is collected regarding the new requirements of the project, so that when starting with the design can be structured a series of ordered steps.
- The prediction software U-Net was used to create the sites and cells, and configure them coverage parameters, propagation model, service configuration, signal losses, etc .; all this by importing the real map of the city of Quito, through which he could visualize the terrain and determine the most critical behavior of the signal points.
- As in the design process, the simulation software predicting U-Net is used, through which traffic maps have been created to analyze the behavior of each of the services that were set up during design ; All this was possible capacity assembly having U-Net to generate statistical results.
- The results obtained through prediction software U-Net, both prediction and simulation allowed to confirm and ensure that the truly mobile user experience quality LTE services because performance levels that were obtained are remarkably higher than 3G / HSPA +.

## 9. RECOMMENDATIONS

- It is very important that the environmental conditions in which the project will be developed, geographical and obstacles encountered in the propagation path such as buildings and trees should be considered accidents are analyzed, since these factors depends on the selection channel model and propagation in the planning of coverage.
- Among the main aspects that must be considered in terms of the radiant system configuration parameters are radio frequency, since its correct configuration in the design, allow the time to be implemented is fully exploited the ability of antennas, avoiding interference with other sectors.
- A correct configuration of the cell planning is recommended, taking into account the PCI, monitoring and related areas of neighborhoods; parameters which enable the different radio signals differ from one another and monitor the EU to be held during connection, misconfiguration of these parameters would be crucial in the network as interference and performance would occur signal would not be optimal.
- While prediction software U-Net, is a comprehensive tool that provides multiple applications, this project focused on the design of a LTE FDD network and is able to visualize the results, but for maximum benefit it is recommended that a correct interpretation of them is made.

## REFERENCES

- LTE for UMTS: OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access Edited by Harri Holma and Antti Toskala © 2009 John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-0-470-99401-6.
- Magdalena Nohrborg. LTE Overview. Obtenido el 25 de marzo de 2014 en <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>.

- LTE—the UMTS long term evolution: from theory to practice / Stefania Sesia, Matthew Baker, and Issam Toufik. © 2009 John Wiley & Sons Ltd.
- Theory and Applications of OFDM and CDMA: Wideband Wireless Communications by Henrik Schulze, Christian Lueders. ISBN: 978-0-470-85069-5.
- LTE for 4G Mobile Broad Band Air Interface Technologies and Performance by Farooq Khan, Published in USA by Cambridge University Press, New York.
- 3GPP TS 29.188 V9.4.0. Mobility Management Entity (MME) – Visitor Location Register (VLR) SGs interface specification (Release 9).
- 3GPP TS 24.301 V8.1.0. Non-Access-Stratum (NAS) protocol for Evolved Packet System (EPS). (Release 8).
- LTE for UMTS: OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access (p. 30) Edited by Harri Holma and Antti Toskala © 2009 John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-0-470-99401-6

### **Diana Carolina Alvarez Paredes**



Was born in Ambato, Ecuador, on November 18, 1990.

Completed her secondary education at the College: "República del Ecuador" in Otavalo, obtaining a bachelor's degree in Physics and Mathematics.

Her studies in engineering in Electronics and Communication Networks were conducted at the Technical University of North in Ibarra.