



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA
PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Evaluación de QoS en la transmisión de datos de alta
velocidad en movilidad en una red LTE**

AUTOR:

Ramírez Oleas, Aníbal Danny

Componente práctico del examen complejo previo a la
obtención del grado de **INGENIERO EN
TELECOMUNICACIONES**

REVISOR:

Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

09 de septiembre del 2016



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente **componente práctico del examen complejo**, fue realizado en su totalidad por **Ramírez Oleas, Aníbal Danny** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**.

REVISOR

Palacios Meléndez, Edwin Fernando

DIRECTOR DE CARRERA

Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 09 del mes de Septiembre del año 2016



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Ramírez Oleas, Aníbal Danny**

DECLARÓ QUE:

El componente práctico del examen complejo, Evaluación de QoS en la transmisión de datos de alta velocidad en movilidad en una red LTE previo a la obtención del Título de **Ingeniero en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 09 del mes de Septiembre del año 2016

EL AUTOR

RAMÍREZ OLEAS, ANÍBAL DANNY



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **Ramírez Oleas, Aníbal Danny**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del **componente práctico del examen complejo, Evaluación de QoS en la transmisión de datos de alta velocidad en movilidad en una red LTE**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 09 del mes de Septiembre del año 2016

EL AUTOR

RAMÍREZ OLEAS, ANÍBAL DANNY

REPORTE DE URKUND

URKUND

Documento	Ramírez Anibal FINAL.docx (D21453722)
Presentado	2016-08-20 11:36 (-05:00)
Presentado por	fernandopm23@hotmail.com
Recibido	edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com
Mensaje	Revisión componente teórico del examen c omplexivo Anibal Ram írez Mostrar el mensaje completo

0% de esta aprox. 13 páginas de documentos

Lista de fuentes	Bloques		
+	Categoría	Enlace/nombre de archivo	<input type="checkbox"/>
+		CARATULAS.doc	<input type="checkbox"/>
+		http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstr...	<input type="checkbox"/>
+		http://www.catedra-telefonica.movis...	<input type="checkbox"/>
+	>	http://www.unipamplona.edu.co/un...	<input type="checkbox"/>
+		http://doi.org/10.1155/2010/870268	<input type="checkbox"/>

Reiniciar Exportar Compartir

0 Advertencias

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE
GUAYAQUIL FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA
PARA EL DESARROLLO CARRERA

DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES TEMA:
Evaluación de QoS en la transmisión de datos de alta
velocidad en movilidad en una red LTE AUTOR:
Ramírez Oleas Anibal Danny Componente práctico
del examen complexivo previo a la obtención del
grado de INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES
REVISOR: Palacios Meléndez, Edwin Fernando
Guayaquil, Ecuador 02 de Septiembre del 2016

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE
GUAYAQUIL FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA
PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

DEDICATORIA

En primer lugar, quiero agradecer a Dios y a mi familia que fueron pilares fundamentales brindándome su confianza y apoyo en cada día de mi vida, llevándome a culminar la carrera. Gracias por ayudarme a cumplir mis metas como estudiante y como persona.

Gracias a mis PADRES por hacer de mí una mejor persona a través de su ejemplo, esfuerzo, enseñanza y amor. Gracias por hacer de mí un profesional y un hombre de bien.

A mi hermano Jonathan Javier Ramírez Oleas, mi tío Luis Hernán Pilco Caiza mi abuela Concepción Caiza Mañay por el cariño, apoyo, comprensión y amistad que siempre me ha brindado toda la vida.

EL AUTOR

RAMÍREZ OLEAS, ANÍBAL DANNY

AGRADECIMIENTO

Ante todo, agradezco a Dios, por ser parte fundamental en mi vida, ya que me ha guiado por los buenos caminos.

Al Mgs. Palacios Meléndez, Edwin Fernando por su importante aporte y participación en el proyecto de examen complejo, por su amabilidad y sobre todo su experiencia y su aporte profesional para alcanzar los objetivos planteados.

A cada uno de mis profesores que fueron una guía en cada una de mis etapas en mi vida estudiantil, formándome para ser un buen profesional.

EL AUTOR

RAMÍREZ OLEAS, ANÍBAL DANNY



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____
LUIS SILVIO CORDOVA RIVADENEIRA
REVISOR

f. _____
MANUEL DE JESUS ROMERO PAZ
DECANO

f. _____
EDWIN FERNANDO PALACIOS MELÉNDEZ
COORDINADOR DE TITULACIÓN

3.2.4. Rendimiento en la transmisión de datos.....	42
3.2.5. Posición del recorrido de pruebas.	42
3.3. Pruebas realizadas en radio bases.	42
3.4. Análisis del drive test.	44
3.4.1. Análisis de la cobertura.....	44
3.4.2. Análisis de QoS.....	46
3.4.3. Rendimiento	47
Conclusiones	49
Referencias Bibliográficas.	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2:

Figura 2. 1: Tecnologías de redes inalámbricas.	16
Figura 2. 2: Evolución tecnológica de WWAN.....	20
Figura 2. 3: Estructura de trama LTE.	23
Figura 2. 4: LTE recurso físico de enlace descendente basado en OFDM. .	24
Figura 2. 5: Señal de referencia de enlaces descendentes LTE asumiendo prefijos cíclicos normales.....	25
Figura 2. 4: Procesamiento del canal de transporte de enlace descendente LTE.	26
Figura 2. 7: Mapeo de bloques de recursos de enlace descendente.	27
Figura 2. 8: Sistemas MIMO.....	28
Figura 2. 9: Cadena de transmisión MIMO con asignación de capas y precodificación.....	31
Figura 2. 8: Rendimiento teórico ligado a la capacidad del canal.....	34

Capítulo 3:

Figura 3. 1: Equipos para realizar drive test.....	37
Figura 3. 2: Gráfica del recorrido de pruebas en el campus UCSG.	43
Figura 3. 3: Gráfica del recorrido de pruebas en Bellavista y suroeste.	44
Figura 3. 4: Promedio de RSRP versus distancia.....	45
Figura 3. 5: Promedio del rendimiento de la RSRP.	47
Figura 3. 6: Promedio del rendimiento de la SINR.....	48

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 2:

Tabla 2. 1: Especificaciones de ancho de banda y recursos de bloques.	24
Tabla 2. 2: Capacidad del canal SISO.	33
Tabla 2. 3: Capacidad del canal MIMO (2x2).	33
Tabla 2. 4: Capacidad del canal MIMO (4x4).	33

Capítulo 3:

Tabla 3. 1: Resultados drive test de la cobertura.	45
---	----

RESUMEN

El presente trabajo correspondiente al componente práctico del examen complejo consiste en realizar pruebas de medición en movimiento, conocido como drive test en el sector suroeste de la ciudad de Guayaquil. Antes de las pruebas en movimiento, se realizó la descripción del estado del arte de la tecnología LTE, aunque a nivel mundial funciona en un 100%, acá en nuestro país no funciona todavía VoLTE (Voice over LTE) que en español es voz sobre LTE. Durante el desarrollo del componente práctico, se debió alquilar los equipos de drive test y así cumplir con las respectivas pruebas de campo. El drive test realizado tiene como desventaja que la velocidad del vehículo no exceda de los 40 km/h, ya que, si es mayor a lo indicado, los equipos pierden el enlace con las radios bases. Para las pruebas se consideraron ciertos parámetros necesarios que permitieron determinar la calidad de servicio en la transmisión de datos, así como también evaluamos el rendimiento de la red LTE para datos.

Palabras Claves: COMUNICACIONES INALÁMBRICAS, LTE, VoLTE, OFDM, MIMO, DRIVE TEST.

CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE PRÁCTICO.

1.1. Introducción.

La tecnología de cuarta generación en telefonía celular conocida como LTE (*Long Term Evolution*) inicia en el 2004 como proyecto a cargo del organismo de telecomunicaciones denominado como 3GPP (*Third Generation Partnership Project*). Esta evolución tecnológica de telefonía móvil LTE ya se encuentra disponible en nuestro país “Ecuador” y se aproxima a dos años de su implementación, aunque solo se utiliza el ancho de banda móvil, es decir, transmisión de datos. La parte de voz sobre LTE, conocida como VoLTE aún no está implementado por ninguna de las tres operadoras (CNT E.P., Movistar y Claro) de telefonía móvil.

A inicios del año 2015 las dos telefónicas privadas, Claro y Movistar pudieron acceder a la concesión por parte del Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL) del espectro de frecuencias, 60 MHz y 50 MHz respectivamente. Durante los últimos años las pruebas de mediciones en movimiento conocidas como Drive Test, permiten medir el rendimiento de sistema de transmisión de datos en cada una de las antenas instaladas en diferentes sectores. LTE no es la excepción para las pruebas de campo “Drive Test”, ya que por ser una tecnología nueva debe ser constantemente evaluadas sus radios bases.

1.2. Objetivos del componente práctico.

De acuerdo a la asignación del trabajo de componente práctico del examen complejo, se describen a continuación el objetivo general y objetivos específicos del trabajo realizado en el drive test.

1.2.1. Objetivo General.

Evaluar la QoS en la transmisión de datos de alta velocidad en movilidad en una red LTE a través de un drive test.

1.2.2. Objetivos Específicos.

- Describir el estado del arte de la tecnología celular LTE.
- Realizar pruebas de calidad de servicio mediante drive test de la red LTE durante la transmisión de datos.
- Evaluar los parámetros obtenidos en el drive test.

CAPÍTULO 2: Fundamentación Teórica.

2.1. Descripción general de la tecnología inalámbrica.

Las tecnologías inalámbricas permiten a uno o más dispositivos comunicarse sin una conexión por cable real. La frecuencia de radio, se utiliza para transmitir los datos. Estas tecnologías están evolucionando rápidamente para satisfacer una variedad de necesidades de comunicación, de lo simple a lo complejo.

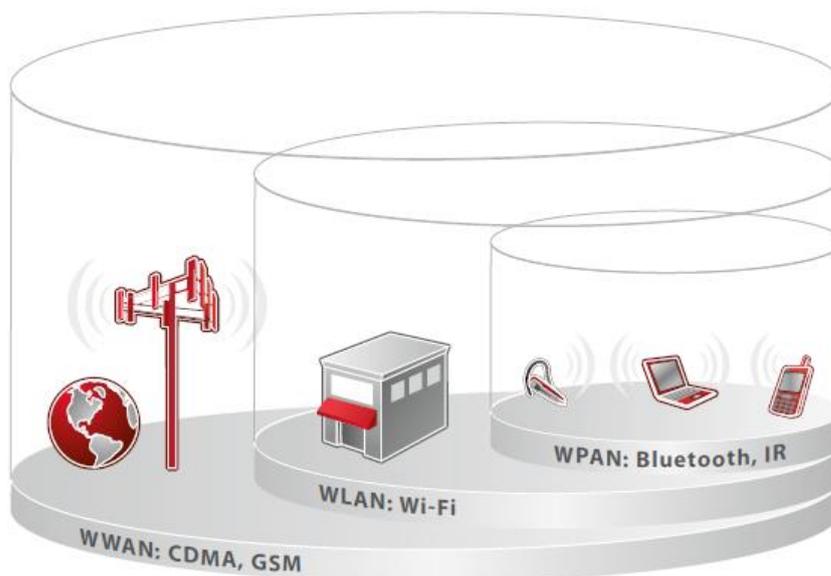


Figura 2. 1: Tecnologías de redes inalámbricas.

Fuente: (Verizon, 2014)

Las necesidades de comunicaciones inalámbricas pueden clasificarse en una de tres maneras, en función de la distancia que están destinados a cubrir. Estos incluyen (véase la figura 2.1): redes inalámbricas de área personal (WPAN), redes de área local inalámbricas (WLAN) y redes de área amplia inalámbrica (WWAN). Las redes inalámbricas forman el mecanismo de

transporte entre los dispositivos y las redes cableadas tradicionales. WPAN (ver figura 2.9) se limitan a distancias inferiores a unos 10 metros e incluyen tecnologías como infrarrojos (IR), la tecnología Bluetooth y banda ultra ancha (UWB).

Las redes WLANs cubren un área local con distancias desde los puntos de acceso (*Access Point, AP*) individuales que llegan a unos 100 metros, e incluyen tecnologías tales como Wi-Fi (bajo los estándares IEEE 802.11a/b/g/n). Las redes WWAN cubren áreas más grandes, incluso, el uso de redes de datos celulares. A continuación, se describen algunas de las tecnologías inalámbricas más populares y ampliamente utilizadas para ofrecer a los lectores un punto de referencia para el uso de la tecnología 3G.

a) Redes WPAN: suelen proporcionar conexiones de redes Ad-Hoc, diseñados para conectar dispositivos dinámicamente a otros dispositivos dentro del rango de la otra. Estas conexiones se denominan Ad-Hoc, ya que por lo general no necesitan conectarse a cualquier infraestructura de red para operar. Ellos simplemente se pueden conectar entre sí y realizar comunicaciones necesarias sin la necesidad de cualquier dispositivo de la red de acceso, tales como puntos de acceso o estaciones base.

b) Bluetooth: se ha convertido en el estándar de red más utilizado WPAN. El estándar Bluetooth es una especificación industrial que describe cómo los móviles, auriculares, ordenadores, dispositivos de mano, dispositivos

periféricos y otros dispositivos informáticos móviles deben interconectarse entre sí. Aplicaciones de red Bluetooth incluyen auriculares inalámbricos, la operación de manos libres, la sincronización inalámbrica, impresión inalámbrica, audio estéreo avanzada, acceso telefónico a redes, transferencia de archivos, y el intercambio de imágenes, para nombrar unos pocos.

c) WLAN: proporcionan conexiones diseñadas para conectar dispositivos a las redes cableadas. A diferencia de una LAN cableada, una red WLAN no requiere de cableado para conectar el dispositivo a un switch o router. Dispositivos se conectan de forma inalámbrica a los puntos de acceso inalámbricos cercanos que están conectados a la red local mediante una conexión Ethernet. Un único punto de acceso se comunica con los dispositivos WLAN cercanías en un área de cobertura de unos 100 metros. Esta área de cobertura permite a los usuarios moverse libremente dentro del alcance de un punto de acceso con sus ordenadores portátiles, dispositivos de mano, u otros dispositivos de red. Varios puntos de acceso pueden ser coordinados entre sí mediante un interruptor WLAN de red para permitir a los usuarios para transferirlos entre puntos de acceso.

d) Wi-Fi: Wi-Fi (IEEE 802.11 o) es el conjunto de normas establecidas para definir las redes LAN inalámbricas. Un número de diferentes protocolos se definen en la familia de normas 802.11, dirigiéndose a varias

frecuencias de funcionamiento y rendimientos máximos. El estándar 802.11g es actualmente el protocolo predominante desplegado en las implementaciones WLAN.

- e) **WWAN:** proporcionan las redes de datos de banda ancha con una gama mucho más amplia, utilizando las tecnologías celulares, tales como GPRS, HSPA, UMTS, 1xRTT, 1xEV-DO y LTE. dispositivos de datos inalámbricos se conectan a una red inalámbrica de banda ancha a través de la red de datos de un vehículo comercial, lo que permite un rendimiento de banda ancha, sin necesidad de una conexión cableada a una infraestructura de red (como una WLAN), mientras que proporciona a los usuarios finales mucho mayor movilidad.

Estos WWAN suelen incorporar técnicas de identificación de usuario sofisticadas para garantizar que sólo los usuarios autorizados tienen acceso a la red. Múltiples estaciones base están coordinadas por controladores de estaciones base para que los usuarios de mano de entre las estaciones base celulares (sitios).

2.2. Evolución WWAN.

A medida que el uso y el número de dispositivos inalámbricos han incrementado, cada vez las más demandas se colocaron sobre las tecnologías subyacentes para ofrecer mejores prestaciones en capacidades y

servicios. En la figura 2.2 se muestra la evolución de las tecnologías de WWAN.



Figura 2. 2: Evolución tecnológica de WWAN.

Fuente: (Verizon, 2014)

2.3. Requerimientos de LTE.

De acuerdo al trabajo de (Myung & Goodman, 2008), toda red LTE debe satisfacer los siguientes requisitos:

a) **Velocidades de datos:**

LTE debe soportar una velocidad de datos de hasta 100 Mbps dentro de una asignación de espectro de 20 MHz del enlace descendente, y 50 Mbps en un enlace ascendente de 20 MHz o, equivalentemente, los valores de eficiencia espectral de 5 bps/Hz y 2.5 bps/Hz, respectivamente (Guevara T. & Vásquez A., 2013).

b) **Rendimiento:**

El rendimiento promedio del enlace descendente, es aproximadamente de 3 a 4 veces mayor que release 6. Mientras, que el rendimiento promedio de enlace ascendente para el usuario, es aproximadamente de 2 a 3 veces mayor que release 6 (Chimbo Rodríguez, 2012).

c) **Ancho de banda:**

Las redes LTE, permiten anchos de banda que van desde 1,4 MHz hasta 20 MHz, este último se utiliza para lograr velocidades de datos más alta en

LTE. Además, LTE opera tanto en espectro apareado y no apareado, apoyando tanto por duplexación por división de frecuencia (*Frequency-Division Duplexing, FDD*) y duplexación por división de tiempo (*Time-Division Duplexing, TDD*).

d) Movilidad

La movilidad está optimizada para terminales a velocidades bajas que oscilan entre 0 y 15 km/h. También, las conexiones deben mantenerse para equipos de usuarios (*User Equipment, UE*) a velocidades muy altas que van desde 350 km/h o incluso hasta 500 km/h.

e) Cobertura

Para los anteriores requisitos, se deben cumplir para células de 5 km y una ligera degradación en el rendimiento y la eficiencia espectral celular de 30 km y 100 km y hasta no pueden cumplir con los requisitos objetivos.

2.4. Multiplexación por división de frecuencias ortogonales.

La multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM), ha reunido mucha atención en los últimos años y ha sido adoptado como el esquema de transmisión de enlaces descendentes para 3GPP LTE. Básicamente, OFDM es un esquema de transmisión multiportadora, ya que divide la señal de alto flujo de bits transmitidos en diferentes sub-flujos y estos se envían a lo largo de muchos subcanales diferentes (Molisch, 2011).

En otras palabras, simplemente OFDM divide el ancho de banda disponible en múltiples subportadoras estrechas y transmite los datos de estas

portadoras en flujos paralelos. Cada subportadora, es modulada a través de diferentes niveles de modulación, tales como, QPSK, QAM, 64QAM y un símbolo OFDM se obtiene mediante la adición de las señales de subportadora modulada.

2.5. Flexibilidad del espectro

Las comunicaciones en redes LTE utilizan diferentes bandas de frecuencia, y de diferentes tamaños. Además, la comunicación puede tener lugar tanto en las bandas apareadas y no apareadas. Para Zhang & Liew (2010) las bandas de frecuencias apareadas, indica que las transmisiones de enlaces ascendentes y descendentes utilizan bandas de frecuencias separadas, mientras que las bandas de frecuencias no apareadas comparten la misma banda de frecuencia para enlaces descendentes y ascendentes.

En las comunicaciones LTE, las transmisiones de enlace descendente se agrupan en (radio) tramas o frames de longitud de 10 ms. Una trama de radio, se forma de 10 subtramas de 1 ms de duración. Por lo tanto, hay diez subtramas en el enlace ascendente y diez tramas en el enlace descendente. Es decir, que cada subtrama se divide en dos ranuras de 0,5 ms de duración. Cada ranura cuenta 6 o 7 símbolos OFDM para prefijo cíclico normal o extendida utilizada. La estructura de trama LTE se ilustra en la figura 2.3

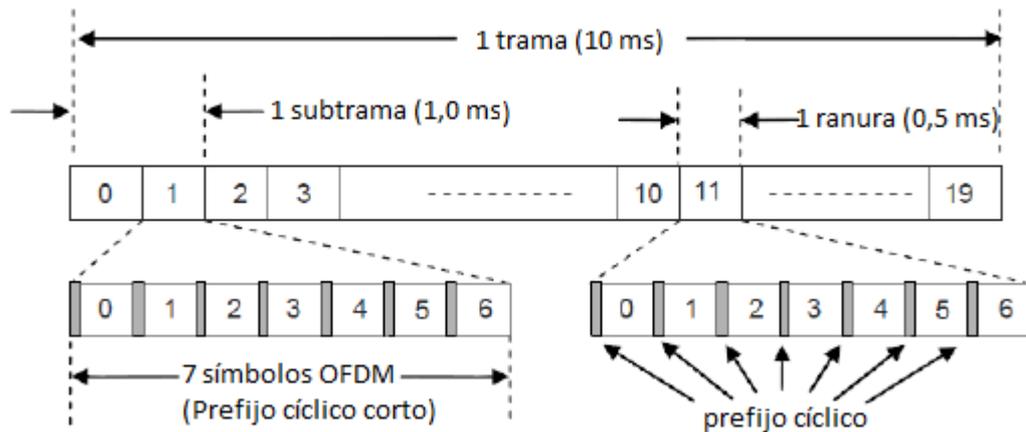


Figura 2. 3: Estructura de trama LTE.
Fuente: (Zyren, 2007)

El espectro es muy flexible y permite a la tecnología LTE utilizar diferentes anchos de banda que van desde 1,4 MHz a 20 MHz. Cuanto mayor sea el ancho de banda, mayor es la tasa de datos en LTE.

2.6. Recursos físicos para enlaces descendentes.

Según Parkvall et al. (2010) OFDM es el núcleo de transmisión de enlaces descendentes en redes LTE. Es decir, que en LTE el recurso físico de enlaces descendentes se representa como una rejilla de recursos de tiempo-frecuencia tal como se muestra en la figura 2.2. Un bloque de recursos (*Resource Block, RB*) tiene una duración de 0,5 ms (una ranura) y un ancho de banda de 180 kHz (12 subportadoras). Podemos observar de la figura 2.4 que cada RB tiene $12 \times 7 = 84$ elementos de recursos en el caso de prefijo cíclico normal y $12 \times 6 = 72$ elementos de recursos en el caso de prefijo cíclico extendido.

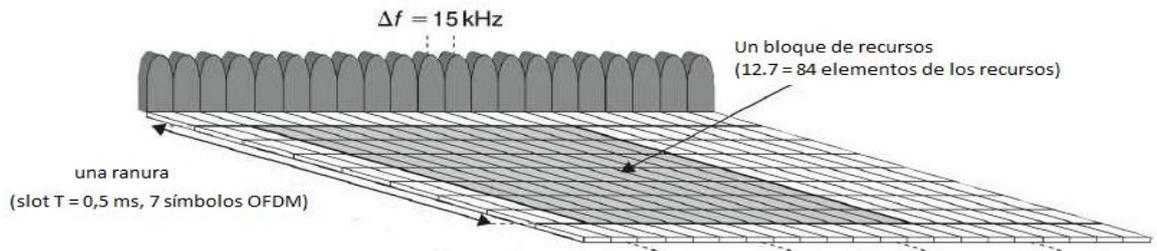


Figura 2. 4: LTE recurso físico de enlace descendente basado en OFDM.

Fuente: (Dahlman, Parkvall, Sköld, & Beming, 2014)

En otras palabras, la rejilla de recursos se refiere a un número de bloques de recursos en el ancho de banda disponible. Cada entrada del bloque de recursos se denomina elemento de recursos (*Resource Element, RE*), que representa una subportadora OFDM durante un intervalo de símbolo OFDM. El número de RBs en una cuadrícula de recursos varía de acuerdo con el tamaño del ancho de banda. La separación OFDM de la subportadora es 15 kHz.

En la tabla 2.1 se muestra la configuración del ancho de banda y de recursos de LTE.

Tabla 2. 1: Especificaciones de ancho de banda y recursos de bloques.

Ancho de banda (MHz)	1.4	3	5	10	15	20
Número de Bloques de recursos	6	15	25	50	75	100
Número de ocupados subportadoras	72	180	300	600	900	1200
IFFT / FFT Tamaño	128	256	512	1024	1536	2048
subportadora El espaciamiento (KHz)	15	15	15	15	15	15

Elaborado por: Autor

2.4.1. Señales de referencia descendentes.

Para llevar a cabo la estimación de canal, los símbolos de referencia (señales de referencia) están incrustados en el bloque de recursos físicos (*Physical Resource Block, PRB*), como se muestra en la figura 2.5. Las señales de referencia, se insertan en los símbolos OFDM primero y quinto de cada ranura en el caso de prefijos cíclicos (CP) cortos y durante los símbolos OFDM primero y cuarto en el caso de PC largos.

Por lo tanto, se tienen cuatro símbolos de referencia dentro de una PRB. El bloque de recursos físicos (PRB), es el elemento más pequeño asignado por el programador de la estación base.

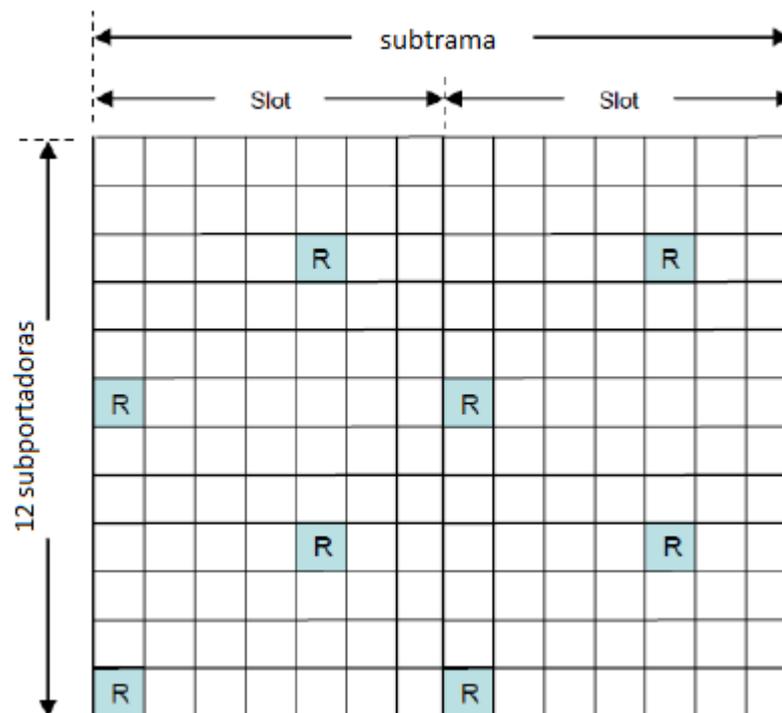


Figura 2. 5: Señal de referencia de enlaces descendentes LTE asumiendo prefijos cíclicos normales.

Fuente: (Zyren, 2007)

2.4.2. Procesamiento de canal de transporte de enlace descendente.

En la figura 2.6 se muestra el procesamiento de canal de transporte. Se puede ver que se inicia con la comprobación de redundancia cíclica (CRC), que se calcula y se fija a cada bloque de transporte (*Transport Block, TB*) para la detección de errores en la TB por el receptor. Después de la inserción CRC, los datos (TB+CRC) a ser enviados son turbo-codificados con una tasa de codificación de 1/3. La tarea de HARQ (llamado, solicitud de petición automática híbrida), es cuidar de la retransmisión si se reciben los paquetes recibidos erróneamente.

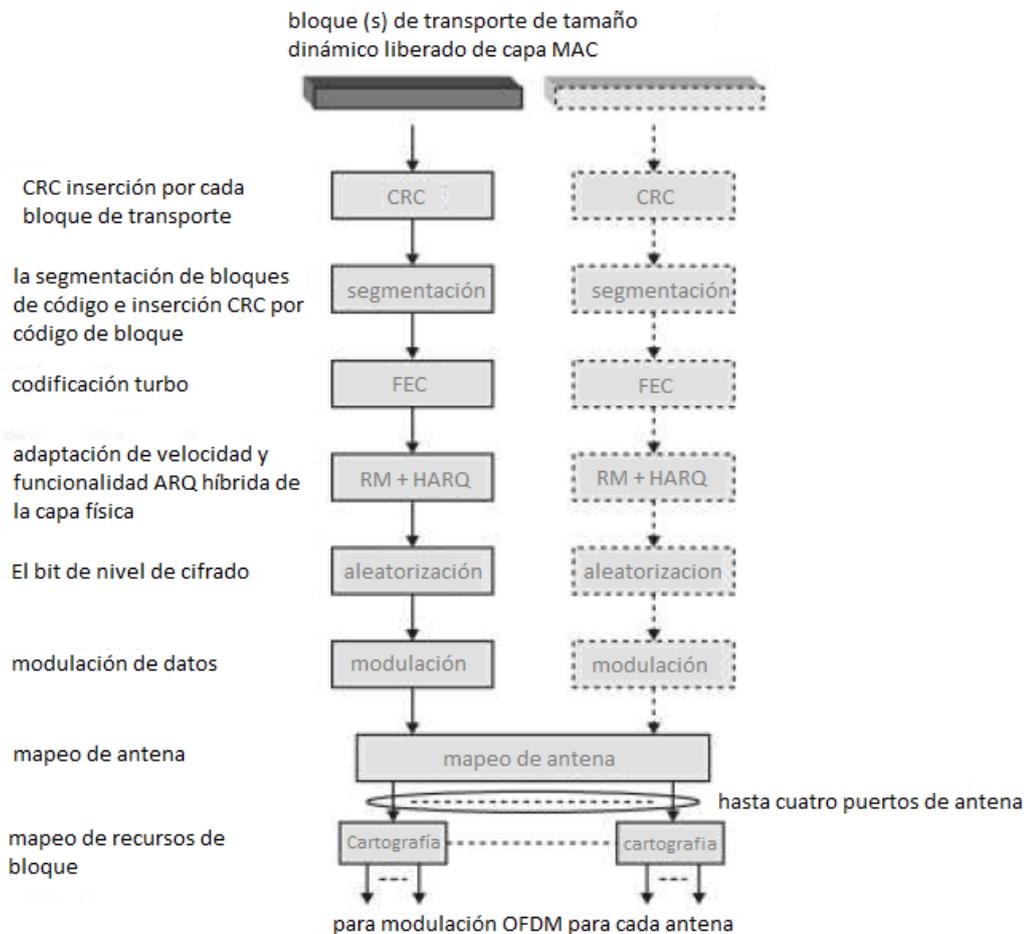


Figura 2. 6: Procesamiento del canal de transporte de enlace descendente LTE.

Fuente: (EUIT, 2016)

La retransmisión debe representar los mismos bits de información que el mensaje inicial pero los bits codificados utilizados para cada retransmisión pueden ser diferentes que el mensaje original. Más tarde, la información a transmitir se modula usando uno de los siguientes esquemas de modulación: QPSK, 16QAM, 64QAM y que representa dos, cuatro y seis bits por símbolo de modulación, respectivamente.

El bloque de correspondencia de la antena, asigna el bloque de transporte a diferentes antenas. Es por esto, que LTE utiliza hasta cuatro antenas de transmisión. Adicional, LTE es compatible con antenas de diferentes esquemas de transmisión múltiple, que son: diversidad de transmisión, formación de haz y multiplexado espacial.

El objetivo de la asignación de bloque de recursos, es el mapeo de los datos a transmitir en cada antena a un conjunto de bloques de recursos asignados por el programador. En la figura 2.7 se muestra el mapeo de bloques de recursos del enlace descendente.

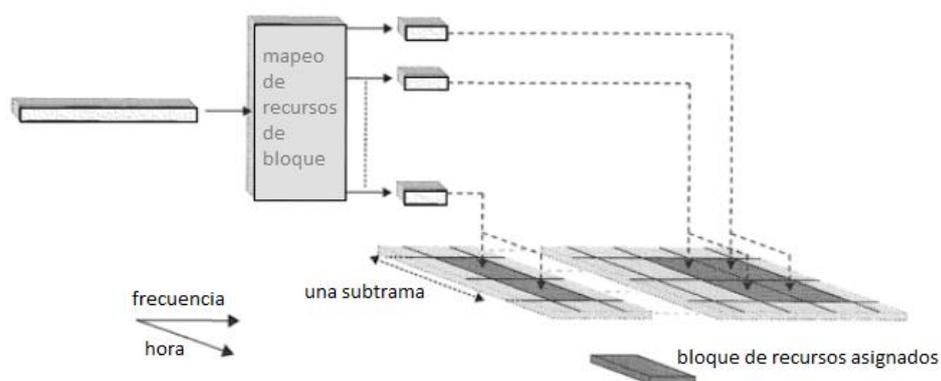


Figura 2. 7: Mapeo de bloques de recursos de enlace descendente.

Fuente: (Dahlman et al., 2014)

2.7. Antenas múltiples entradas y salidas – MIMO.

La técnica MIMO conocida como <<Múltiple entrada múltiple salida>>, son compatibles con múltiples antenas en el transmisor y en el receptor (véase la figura 2.8). El objetivo de MIMO, es lograr diferentes tipos de ganancias a saber: la diversidad espacial y multiplexado espacial.

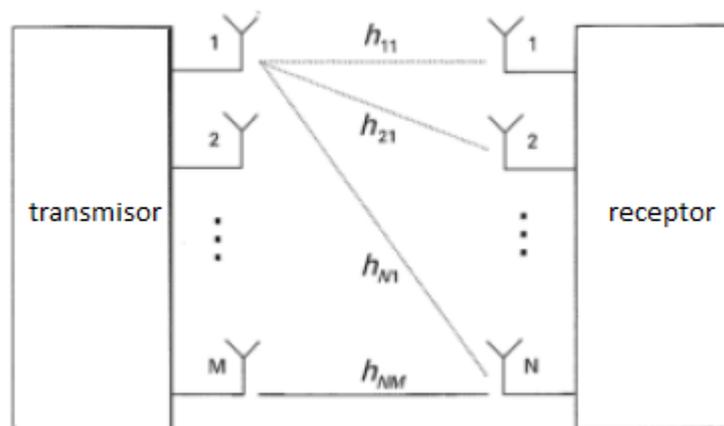


Figura 2. 8: Sistemas MIMO.

Fuente: (Bravo, Cabrera, & Canchón, 2014)

La multiplexación espacial, permite aumentar la capacidad mediante la transmisión de diferentes flujos de datos de manera simultánea en paralelo de diferentes antenas. La diversidad espacial, se puede utilizar para aumentar la robustez de la comunicación en canales de desvanecimiento mediante la transmisión de múltiples réplicas de la señal transmitida desde diferentes antenas.

MIMO se puede utilizar para mejorar la capacidad de la célula. Además, de formar haces puede ser utilizado para dar forma al haz de la antena en la

dirección de ciertas UEs. A continuación, se describen esquemas SISO y MIMO. En la figura 2.8 se muestran los esquemas SISO, MISO y SIMO.

a) Capacidad SISO

En base a la teoría matemática de la comunicación, escrita por C. Shannon demuestra que el bit sin errores máximo para canales AWGN (ruido gaussiano blanco aditivo) es:

$$\frac{C}{B} = \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (1)$$

Donde:

C, es la capacidad del canal (bps),

B, es el ancho de banda del canal (Hz), y

S/N, es la relación de potencia de señal a ruido (dB) a la entrada del receptor digital.

Debido a las pérdidas inherentes del sistema, la capacidad del sistema definida por Shannon para canales AWGN es:

$$C = FB \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (2)$$

Aquí, B es el ancho de banda ocupado por las subportadoras de datos, y F el factor de corrección. El ancho de banda está dado por:

$$B = \frac{N_{sc} \cdot N_s \cdot N_{rb}}{T_{sub}} \quad (3)$$

Donde, $N_{sc} = 12$ es el número de subportadoras en un RB, N_s es el número de símbolos OFDM en una trama (a menudo 14 utilizando prefijo

cíclico), N_{rb} es el número de RBs en el ancho de banda seleccionado, y T_{sub} es la duración de un sub-bastidor igual a 1 ms. Dado que la transmisión de una señal OFDM necesita la transmisión de CP y de símbolos de referencia, un factor de corrección es utilizado en la fórmula de Shannon, este representa las pérdidas inherentes del sistema y se calcula como:

$$F = \frac{T_{frame} - T_{cp}}{T_{frame}} \cdot \frac{N_{sc} \cdot \frac{N_s}{2} - 4}{N_{sc} \cdot N_s / 2} \quad (4)$$

Donde, T_{frame} es la duración de trama igual a 10 ms y T_{cp} , es el tiempo total del CP de todos los símbolos OFDM dentro de una trama de radio.

b) Capacidad MIMO

MIMO es utilizada para incrementar la relación de potencia de señal a ruido (SNR). En un sistema con N_t antenas de transmisión y N_r antenas de recepción, la SNR recibida puede aumentar en proporción a $N_t \times N_r$. A partir de la ecuación (1), para valores pequeños de x , podemos utilizar la aproximación $\log_2(1 + x) = x$. Para lo cual, x se deduce que a una pequeña SNR la capacidad aumenta proporcionalmente a la SNR.

De la misma manera, para valores mayores de x tenemos que la aproximación es $\log_2(1 + x) = \log_2(x)$. Esto significa, que a una mayor SNR, la capacidad aumenta logarítmicamente con respecto a la SNR. Así, en el caso de múltiples antenas en el transmisor y receptor, hay una manera de tener un máximo de canales paralelos $N_1 = \min \{N_t, N_r\}$ con una SNR, N_1

veces inferior ya que la potencia de la señal se divide entre los canales. De esta manera la capacidad del canal se convierte en:

$$C = FB \log_2 \left(1 + \left(\frac{N_r}{\min N_{t,N_r}} \right) \cdot \frac{S}{N} \right) \quad (5)$$

$$C = FB \min_{N_t, N_r} \cdot \log_2 \left(1 + \frac{N_r}{\min N_{t,N_r}} \cdot \frac{S}{N} \right) \quad (6)$$

c) Palabras código y asignación de capas.

El número máximo de capas o flujos se llama el rango MIMO. En la figura 2.9 se muestra el encadenamiento MIMO con palabras código y capas.

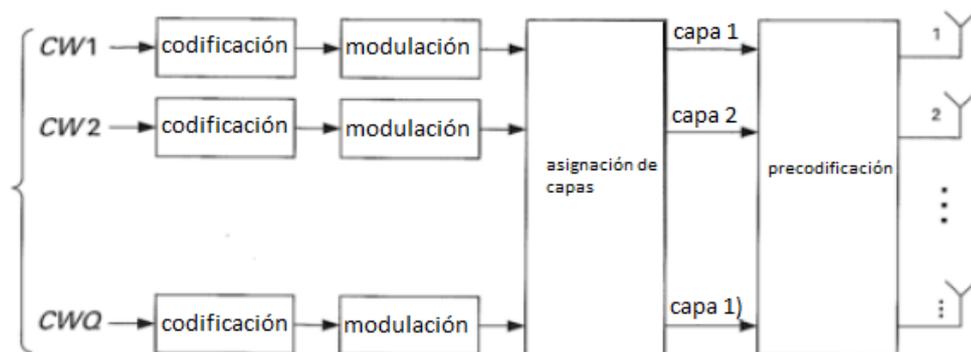


Figura 2. 9: Cadena de transmisión MIMO con asignación de capas y precodificación.

Fuente: (Bravo, Cabrera, & Canchón, 2014)

LTE es compatible con un máximo de dos palabras código (codificados y bloques de transporte modulados). El mapeo de la palabra código a la capa de mapeo se realiza de la siguiente manera. La primera palabra código, se asigna a la primera capa y la segunda palabra código, se asigna a la segunda capa. Un rango de una transmisión utiliza una, dos o cuatro puertos de la antena mientras que un rango de dos transmisiones utiliza dos o cuatro puertos de antenas.

d) precodificación MIMO

En general, un canal MIMO está representado por una matriz de canal que contiene ganancias de canal e información de fase de cada una de las antenas de transmisión para cada antena de recepción (véase la figura 2.8).

El canal para el sistema MIMO, $M \times N$ consta de una matriz como:

$$H = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} & \dots & \dots & h_{1m} \\ h_{21} & h_{22} & \dots & \dots & h_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ h_{n1} & h_{n2} & \dots & \dots & h_{nm} \end{pmatrix} \quad (7)$$

Donde h_{ij} representa la ganancia del canal de antena de transmisión j a la antena de recepción i . Con el fin de obtener información sobre el canal, la información de estado del canal (CSI) debe ser alimentado de nuevo a la estación base. Para el caso de un canal MIMO 4x4, debe ser retroalimentado alrededor de 16 canales de ganancia de cada antena de transmisión a cada antena del receptor. Esto puede conducir a una sobrecarga, y para resolver este problema se utiliza un libro de códigos.

2.8. Capacidad de canal teórico

En la sección anterior, se ha explicado cómo calcular la capacidad del canal para un sistema SISO y MIMO. A partir de la ecuación (2), es sencillo calcular la capacidad del canal para un sistema SISO. En la tabla 2.2 se muestra la capacidad de canal teórico para un sistema SISO para un solo usuario.

Tabla 2. 2: Capacidad del canal SISO.

SNR [dB]	Capacidad de canal [Mbps]
0	14.952
10	51.725
20	99.34
30	149
50	248.35

Fuente: (Bravo, Cabrera, & Canchón, 2014)

A partir de la ecuación (2.7), mediante sencillos cálculos se obtiene la capacidad del canal para un sistema MIMO. Por ejemplo, se considerará sistemas MIMO (2x2) y MIMO (4x4). En las tablas 2.3 y 2.4 se muestran las capacidades teóricas de los canales para sistemas MIMO (2x2) y MIMO (4x4).

Tabla 2. 3: Capacidad del canal MIMO (2x2).

SNR [dB]	Capacidad de canal [Mbps]
0	29.904
10	109.45
20	199.11
30	298
50	496.7

Fuente: (Bravo, Cabrera, & Canchón, 2014)

Tabla 2. 4: Capacidad del canal MIMO (4x4).

SNR [dB]	Capacidad de canal [Mbps]
0	59.808
10	206.90
20	398.21
30	596.12
50	993.4

Fuente: (Bravo, Cabrera, & Canchón, 2014)

Sobre la base de la información en las tablas 2.3 y 2.4, podemos realizar la representación gráfica del rendimiento teórico ligado de la capacidad del canal para un sistema SISO y MIMO. En la figura 2.8 podemos observar que la capacidad del canal aumenta con el número de antenas en el transmisor y en el receptor. Por lo tanto, la capacidad de canal en sistemas MIMO (4x4) es 2 veces mayor que la capacidad de canal en sistemas MIMO (2x2); y que la capacidad de canal de un sistema MIMO (2x2), es también 2 veces más alta que la capacidad de canal en sistemas SISO.

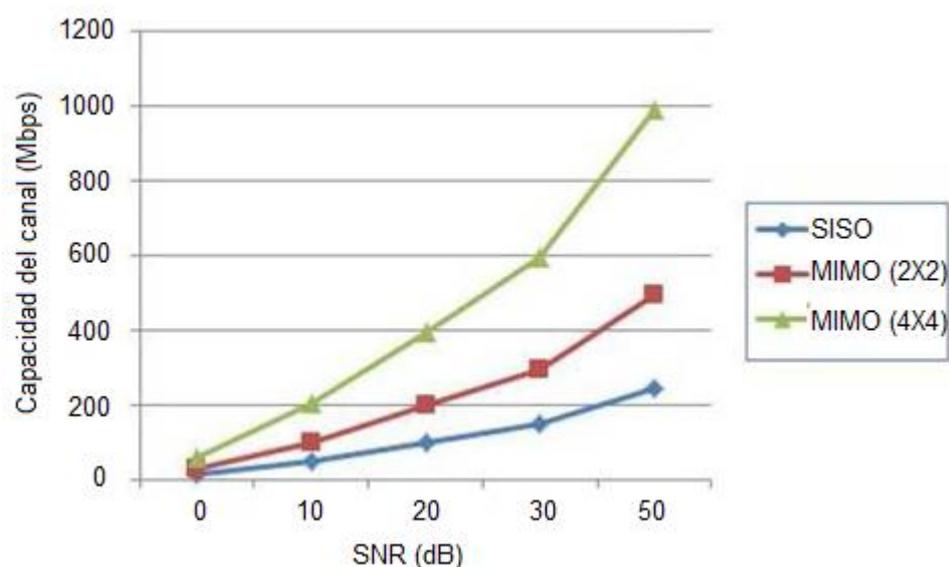


Figura 2. 10: Rendimiento teórico ligado a la capacidad del canal.

Fuente: (Bravo, Cabrera, & Cancón, 2014)

2.9. Beneficios de redes LTE.

A continuación, se mencionan algunos beneficios importantes en las redes de telefonía móvil LTE:

- Proporciona un ecosistema global de movilidad inherente.
- Ofrece fácil acceso y uso con mejores prestaciones en seguridad y privacidad.

- Mejora drásticamente la velocidad y la latencia.
- Proporciona vídeo mejorado en tiempo real y multimedia para una mejor experiencia en general.
- Permite la computación móvil de alto rendimiento.
- Soporta aplicaciones en tiempo real debido a su baja latencia.
- Crea una plataforma sobre la cual construir y desplegar productos y servicios de hoy y a futuro.
- Reduce los costos por cada bit a través de la mejora en la eficiencia espectral.

CAPÍTULO 3: Pruebas de campo.

3.1. Necesidad del drive test en comunicaciones móviles.

Desde el 2012, la empresa estatal CNT realizó el despliegue de la red LTE (4G) y de manera similar con otras tecnologías celulares predecesoras. Es de conocimiento general, que, en Ecuador las redes LTE funcionan solo para brindar servicio de datos. Las pruebas de desplazamiento (drive test), es una parte del despliegue de la red y de gestión del ciclo de vida desde que aparecieron las comunicaciones móviles, y en especial para este componente práctico, que es observar el rendimiento de la red de datos. Drive test, proporciona una captura precisa del mundo real para entornos RF bajo un conjunto particular de redes y condiciones ambientales. La ventaja principal del drive test, es que mide la cobertura real de la red y el rendimiento que un usuario experimentaría en una ruta alrededor de n antenas.

Se argumenta que, en las redes de telecomunicaciones se pueden implementar a base de simulaciones modernas, y que los ingenieros de redes pueden modelar matemáticamente cómo funcionará una red. Si bien lo anterior es verdad hasta cierto punto, también es esencial llevar a cabo “drive test”, mientras se ajusten parámetros de red, alterando la forma en que interactúa el equipo de usuario (UE) y se refiera a un entorno de red. Tales interacciones no pueden ser totalmente predichas a través de modelos matemáticos.

En la figura 3.1 se muestra los equipos necesarios para realizar el “drive test”. Antes de especificar los resultados, es importante hacer hincapié en la importancia de realizar este tipo de pruebas. Un drive test, proporciona mediciones sobre las condiciones reales de la red, en este caso LTE. En particular, se puede mostrar cómo la red está funcionando, el área de cobertura, o el comportamiento de una célula o células específicas. La versatilidad de la prueba y las condiciones de la naturaleza, lo convierte en una de las herramientas más útiles y precisas para los ingenieros que necesitan para planificar y mejorar las redes móviles.



Figura 3. 1: Equipos para realizar drive test.
Elaborado por: Autor

Por lo general, el drive test se realiza utilizando un vehículo y dos componentes de medición: los teléfonos móviles (teléfonos de ingeniería para test) y receptores de medición (analizador RF). Ambos tienen diferentes propósitos: el teléfono móvil proporciona información acerca de la experiencia

del usuario de la red, y el escáner proporciona una visión completa acerca de la recepción de RF. Los datos recogidos se registran en una computadora portátil y después son analizados mediante software adecuado. Además, estos dispositivos están equipados con sistemas GPSs, lo que permite con exactitud registrar el recorrido (ruta) del drive test.

Existe una gran variedad de datos que se pueden recoger durante estas pruebas, como las condiciones de RF, a los mensajes intercambiados entre el teléfono celular y la estación base (Base Station, BS), por lo que es esencial saber qué medir y comprender dichas mediciones. A continuación, se muestran las clases de datos recogidos durante el drive test:

- a. Intensidad de la señal.
- b. Calidad de señal.
- c. Interferencia.
- d. Llamadas caídas.
- e. Llamadas bloqueadas.
- f. Eventos anómalos.
- g. Estadísticas de llamadas.
- h. Estadísticas de nivel de servicio.
- i. Información de QoS.
- j. Información de traspaso.
- k. Información de la célula vecinas.
- l. Coordenadas de localización GPS.

3.2. Parámetros en recorrido de pruebas para redes LTE.

Los recorridos de pruebas (drive test) se realizan por múltiples razones, incluyendo la optimización de células, puntos de referencia de la red, pruebas tecnológicas, control de calidad y nueva validación de celda. En el caso específico de redes LTE, hay varias medidas que son observadas, y posteriormente analizadas. A continuación, se describen las más destacadas:

3.2.1. Potencia recibida de la señal de referencia (RSRP).

A través de los niveles de RSRP (*Reference Signal Received Power*) se logra obtener mediciones de la intensidad de la señal recibida por el teléfono móvil, es decir, cobertura. Básicamente, RSRP significa la potencia media recibida por la UE, a partir de los elementos de los recursos de la señal de referencia sobre un ancho de banda deseado. El RSRP se reporta en los informes de medición de RRC (control de recursos de radio) y el rango del informe está definido desde -140dBm a -44dBm con una resolución de 1 dB. Además, y para el caso de células LTE al aire libre, se deben considerar tres valores referenciales, que son:

- a. Niveles de RSRP mayores a -75 dBm: indican excelente QoS, salvo que existan demasiados clientes (usuarios) que ocupen el ancho de banda disponible.
- b. Nivel de RSRP entre -95 dBm y -75 dBm: indican mínima degradación de QoS; también provoca que el rendimiento disminuya entre 30 y 50%.

- c. Nivel de RSRP por debajo de -95 dBm: la QoS se vuelve inaceptable; para lo cual el rendimiento disminuirá y tienden a cero entre -100 y -108 dBm; siendo esto, una causa probable de una caída de llamada.

3.2.2. Calidad recibida de la señal de referencia (RSRQ).

A través de los niveles de RSRP (*Reference Signal Received Quality*) se logra obtener mediciones de la calidad de la señal, es decir, la relación señal a ruido (SNR). A partir de la siguiente ecuación se obtiene RSRQ:

$$RSRQ(dB) = 10 \log \left(\frac{RSRP}{RSSI^3} \right)$$

El rango de niveles de RSRQ es en el intervalo de -19.5 a -3 dBm, con una resolución de 0.5 dBm. Por lo general, si RSRP permanece estable, e inclusive si el UE está en movimiento, y el nivel RSRQ disminuye, esto significa que la interferencia está aumentando. Si tanto los niveles de RSRP y RSRQ comienzan a disminuir, esto significa la pérdida de cobertura.

En consecuencia, como se explico anteriormente, la interpretación de ambos niveles RSRP y RSRQ pueden proporcionar una representación útil de las condiciones de radio de la red, y ser utilizado para encontrar problemas de cobertura e interferencias que afectan a la experiencia del usuario y de la calidad de servicio. Al igual que RSRP, los niveles de RSRQ son clasificadas en tres categorías de valores, que son:

- a. Niveles de RSRQ mayores a -9dB: esto asegura una buena experiencia del suscriptor
- b. Niveles de RSRQ entre -12 y -9dB: los usuarios pueden experimentar una ligera degradación de QoS, pero se considera para el usuario aceptable.
- c. Niveles de RSRQ menores a -13 dB: por debajo de este nivel se espera que experimenten disminuciones significativas en el rendimiento y también caída de llamadas.

3.2.3. Relación entre señal y la suma de ruido e interferencia (SINR).

La SINR (*Signal to Interference plus Noise Ratio*), es también una medición de la calidad de la señal, pero a diferencia del RSRQ que no se define en las especificaciones de 3GPP, que está definida por los proveedores de la UE. La SINR, es utilizada sobre todo en las comunicaciones inalámbricas, y se define por la potencia de medición de señales utilizables dividido para la suma de la potencia de ruido (*Noise*) y de interferencia (*Interference*), es decir:

$$SINR(dB) = \frac{S}{N + I}$$

La razón para medir niveles de SINR en las transmisiones inalámbricas, en oposición a la SNR (relación señal a ruido) típico de comunicaciones por cable, consiste en la mejor cuantificación de las condiciones de RF de un entorno inalámbrico con múltiples señales presentes de forma simultánea, lo que resulta en una mejor relación entre la medida de RF y el rendimiento.

3.2.4. Rendimiento en la transmisión de datos.

El rendimiento o conocido también como Throughput, representa el volumen de datos transmitidos dentro de un período de tiempo definido tanto en direcciones de enlaces ascendente y descendentes. En los recorridos de pruebas (drive test), el rendimiento representa el comportamiento que se espera de la red, y que depende de las medidas anteriores.

Además de rendimiento, la latencia es también una medida de rendimiento del usuario final que evalúa cómo la red está funcionando y qué clase de QoS puede ser proporcionada. Mide la cantidad de tiempo que un paquete de datos tiene que viajar desde y hacia el destino, de vuelta a la fuente, conocido como tiempo de viaje (*Round Trip Time, RTT*). Aunque, no se proporcionaron datos sobre la latencia, esto significa que, la latencia no se abordará en el análisis de pruebas.

3.2.5. Posición del recorrido de pruebas.

Esta posición se puede representar en diferentes formatos pero en cualquiera de los dos representa una posición específica en el planeta. Se utiliza en el drive test para trazar el camino hecho durante la prueba.

3.3. Pruebas realizadas en radio bases.

La presente sección, se presentan las parcelas de las distintas mediciones recogidas, con el objetivo de proporcionar algo de información visual sobre las condiciones y el rendimiento de la red. Para obtener estos

resultados, de acuerdo a los datos proporcionados por el drive test en equipos de medición apropiados para comunicaciones LTE para datos.

Para las mediciones drive test, se escogió de prueba el campus de la UCSG (véase la figura 3.2), y un recorrido entre el sector de Bellavista (véase la figura 3.3) y parte del suroeste (desde la 17ava hasta la 13ava) de la ciudad de Guayaquil, donde se evaluaron 3 radios bases. Posteriormente, se realiza el respectivo análisis de los resultados obtenidos, para determinar el desempeño de la red, basada en los datos del drive test.

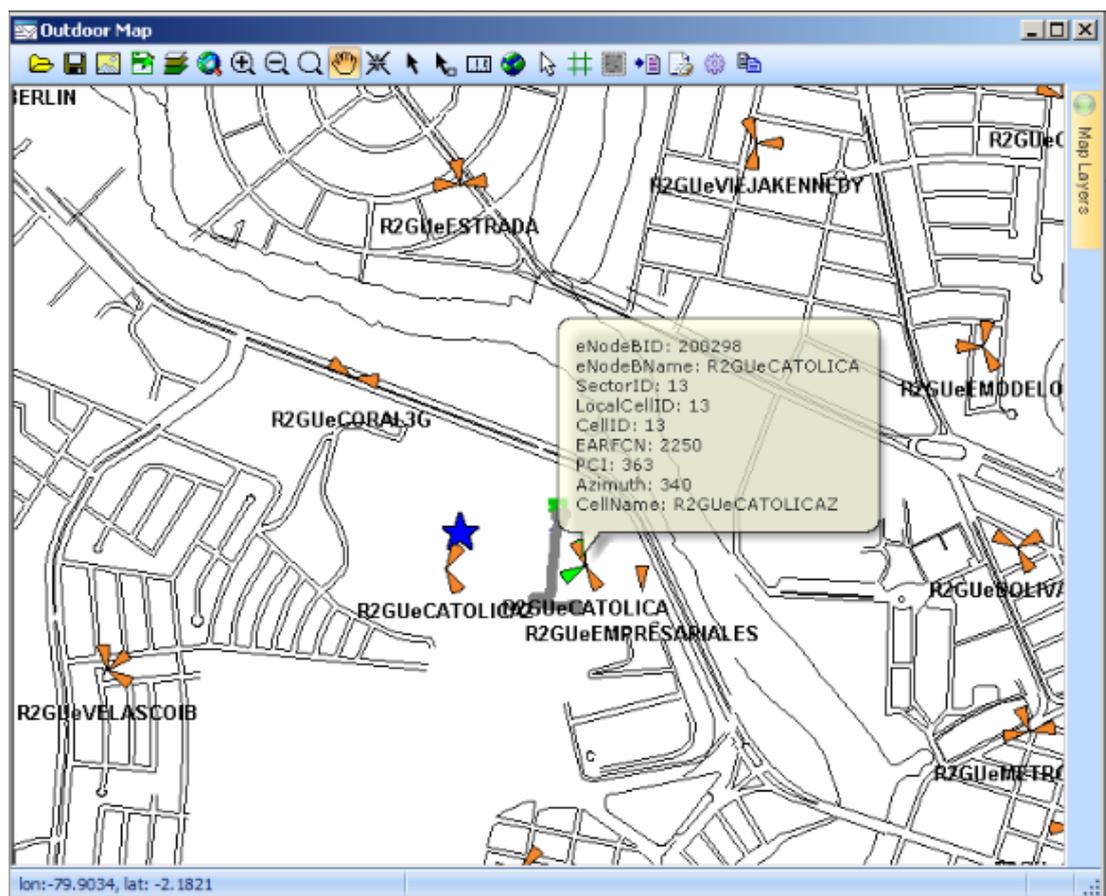


Figura 3. 2: Gráfica del recorrido de pruebas en el campus UCSG.

Elaborado por: Autor

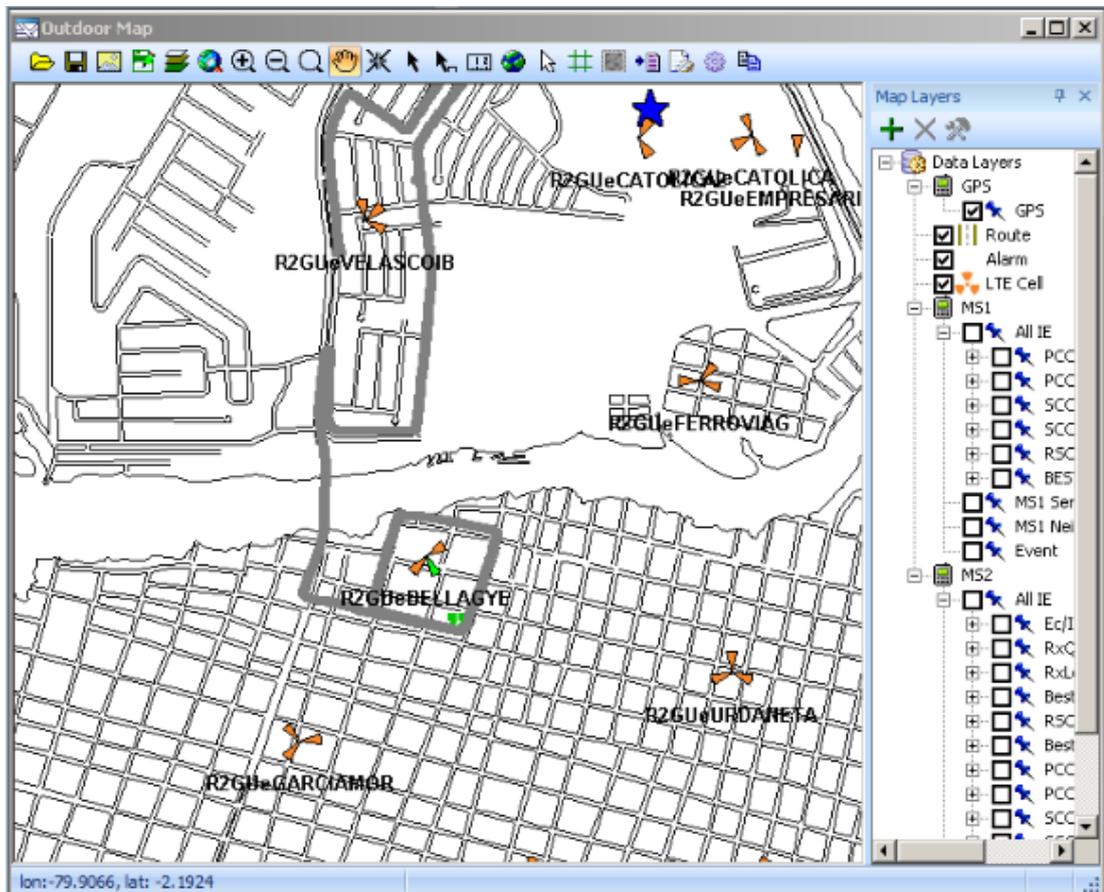


Figura 3. 3: Gráfica del recorrido de pruebas en Bellavista y suroeste.
Elaborado por: Autor

3.4. Análisis del drive test.

En esta sección se realizará el análisis de los resultados obtenidos en el drive test, entre los cuales tenemos: cobertura, calidad de servicio, rendimiento de la red LTE en banda ancha móvil.

3.4.1. Análisis de la cobertura.

Como se pudo apreciar en las figuras 3.2 y 3.3, los 3 eNB instalados en la ruta ya mencionada, se logra una buena cobertura, pero principalmente en sus zonas circundantes. Aunque, hay áreas de cobertura malas, que se muestran en la gráfica de la figura 3.4, que esencialmente son causados por

la gran distancia entre el UE y la BS de servicio. De hecho, los datos recogidos siguen la tendencia expresada en la tabla 3.1.

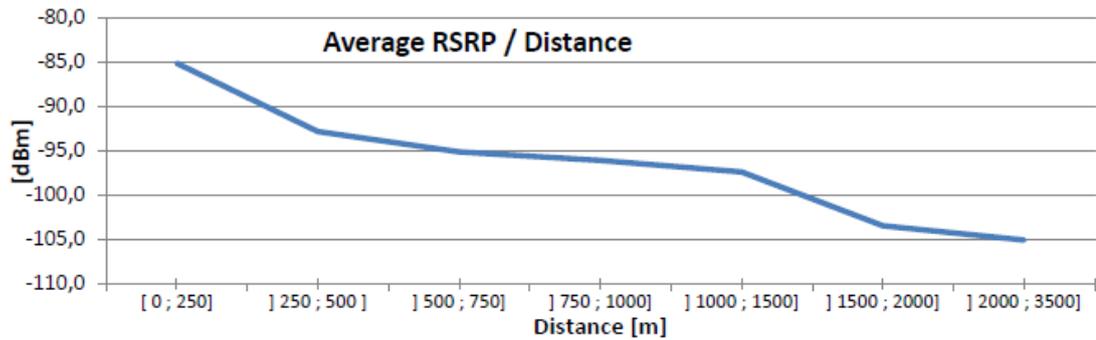


Figura 3. 4: Promedio de RSRP versus distancia.
Elaborado por: Autor

Tabla 3. 1: Resultados drive test de la cobertura.

Distancia [m]	RSRP [dBm]
[0 – 250)	-85
[250 – 500)	-93
[500 – 750)	-96
[750 – 1000)	-97
[1000 – 1500)	-98
[1500 – 2000)	-103
[2000 – 3000]	-105

Elaborado por: Autor

Estos son valores promedio, por lo que sólo una visión general del comportamiento general puede ser evaluada. Esto demuestra que, para distancias mayores a 1 km de la BS, la RSRP promedio cae por debajo de -95 dBm, lo que afecta negativamente a la calidad de servicio y el rendimiento.

3.4.2. Análisis de QoS.

Para evaluar la red en términos de calidad (interferencia), hay dos medidas principales a considerar: RSRQ y SINR. Si en el caso de RSRQ los resultados generales están entre los valores aceptables para proporcionar una buena experiencia para el usuario (mayor que 12 dB). Si se compara con los resultados de cobertura, cierta correlación se puede encontrar entre las áreas de cobertura malas y las zonas de mala calidad.

Este es un comportamiento esperado ya que el RSRQ se calcula utilizando el valor RSRP de acuerdo a la fórmula proporcionado en la sección 3.2.2. Por otro lado, la SINR presenta en su mayoría buenos resultados. De hecho, cuando se comparan con los resultados del análisis de la cobertura, es evidente la superposición de las zonas afectadas.

La mala recepción de la señal y la mala calidad de la señal, esto refuerza la idea de la falta de cobertura en pocas áreas del drive test. En la figura 3.4 y tabla 3.1 se demostraron los casos mencionados donde la SINR de los puntos donde la RSRP es inferior a -105 dBm. La situación opuesta, es decir, los puntos con muy buena recepción de la señal ($RSRP > -85\text{dBm}$) los resultados muestran que la calidad de la señal es en su mayoría muy bueno.

Una conclusión principal que proviene de los resultados y análisis anteriores, y antes de entrar en la evaluación del desempeño o rendimiento del drive test realizado. Es que el estado de las redes actuales, en términos

de cobertura no es suficiente para asegurar la cobertura LTE a la zona escogida para el presente drive test. Sin embargo, y teniendo en cuenta la distancia de algunos de estos puntos a la BS de servicio, la frecuencia de uso (2600 MHz), es un resultado esperado, y estas áreas están más allá del objetivo de la cobertura de la red actual. Por lo tanto, la siguiente parte del análisis drive test, proporcionará respuestas objetivas sobre el rendimiento real que se puede lograr de esta red.

3.4.3. Rendimiento

Para enfatizar la idea anterior los siguientes gráficos que se muestran en las figuras 3.5 y 3.6 relacionan el rendimiento con la RSRP y SINR.

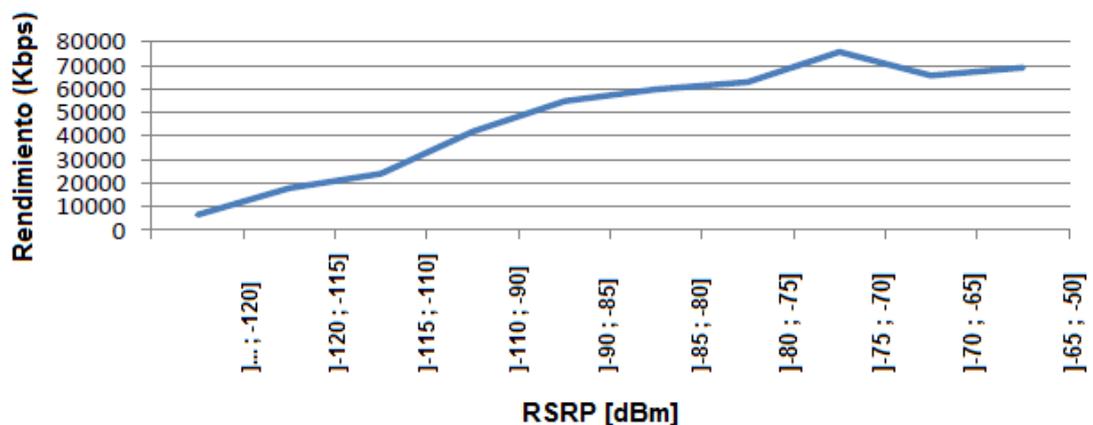


Figura 3. 5: Promedio del rendimiento de la RSRP.

Elaborado por: Autor

Estos gráficos muestran la relación entre la recepción de la señal y la calidad, con el rendimiento (promedio). Es importante conocer, que, en la interfaz de radio, la modulación y la tasa de código dependen de las condiciones de radio, por lo que este comportamiento es coherente con la expectativa teórica.

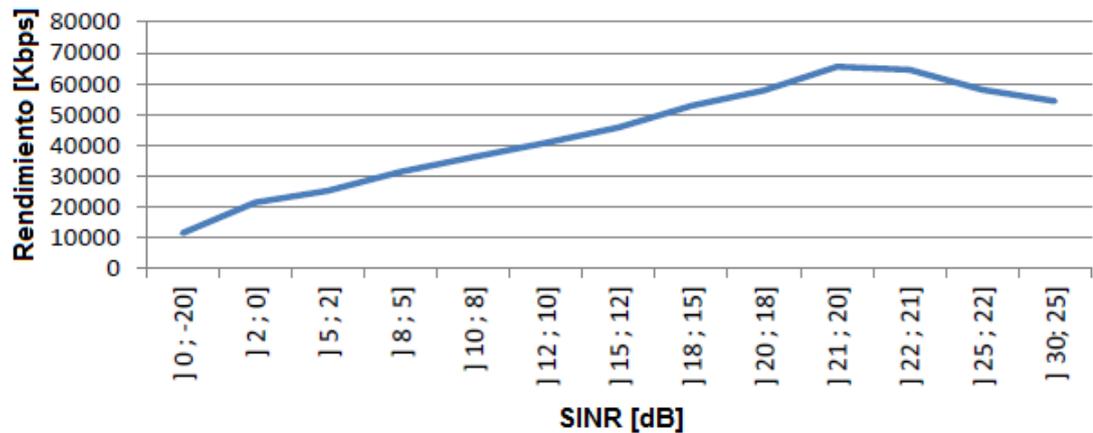


Figura 3. 6: Promedio del rendimiento de la SINR.
Elaborado por: Autor

De los datos obtenidos en el drive test, para el rendimiento de enlace descendente de las velocidades de descarga son entre 20-50 Mbps y entre 50-70 Mbps. Es importante recalcar que este es un único escenario de usuario (sin recursos compartidos) y los valores son un poco lejos del máximo teórico, pero, no obstante, representan una gran mejora de rendimiento típico obtenido con UMTS.

Así, como se había previsto en este análisis, la mala recepción de la señal, además de mala calidad, también conduce a un rendimiento deficiente. Estos resultados refuerzan la idea anterior de que, con el fin de obtener mejores resultados y mejor rendimiento, la cobertura debe ampliarse especialmente en el suroeste.

Conclusiones

La tecnología de telefonía móvil LTE en Ecuador trabaja a nivel de transmisión de datos (ancho de banda móvil) y a su vez representa un gran paso adelante en los sistemas móviles. Se introdujo una nueva arquitectura simplificada totalmente IP, tanto en el acceso y el núcleo, dejando el tradicional circuito de conmutación presente en las generaciones anteriores. Además, se utiliza OFDMA para la técnica de acceso múltiple y MIMO para la técnica de antenas múltiples, pero la evolución principal, que se puso de relieve en su nombre, proviene de las velocidades de datos mucho más altas y menor latencia previstas.

Los drives test constituyen una herramienta esencial para evaluar las condiciones de la red y el rendimiento, y mediante análisis de los datos medidos pueden proporcionar respuestas que ayuden a resolver los problemas identificados y que acciones deben ser implementadas.

Referencias Bibliográficas.

- Bravo, M. D., Cabrera, D. T., & Canchón, A. B. (2014). Propuesta de estructuras con tensores para la implementación de esquemas MIMO. *Sistemas & Telemática*, 12(29), 85–102.
- Chimbo Rodríguez, M. (2012). *Análisis de la propuesta de evolución de redes 3G y su convergencia a la tecnología 4G para redes de telefonía móvil*. Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca. Retrieved from <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2072/13/UPS-CT002379.pdf>
- Dahlman, E., Parkvall, S., Sköld, J., & Beming, P. (2014). *3G Evolution: HSPA and LTE for Mobile Broadband*. Elsevier. <http://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- EUIT. (2016). LTE: Long Term Evolution Tema: Capa Física y Planificación en LTE.
- Guevara T., A., & Vásquez A., V. (2013). *Estado actual de las redes LTE en Latinoamérica*. Universidad de Cuenca. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/349/3/Tesis.pdf>
- Molisch, A. F. (2011). *Wireless communications*. *Books.google.com*
Books.google.com.
- Myung, H. G., & Goodman, D. J. (2008). *Single carrier FDMA: A new air interface for long term evolution*. *Single Carrier FDMA: A New Air Interface for Long Term Evolution*. Wiley Blackwell.

Parkvall, S., Englund, E., Furuskär, A., Dahlman, E., Jönsson, T., & Paravati, A. (2010). LTE Evolution towards IMT-Advanced and commercial network performance. In *12th IEEE International Conference on Communication Systems 2010, ICCS 2010* (pp. 151–155).

Verizon. (2014). LTE: The Future of Mobile Broadband Technology.

Zhang, S., & Liew, S. C. (2010). Applying Physical-Layer Network Coding in Wireless Networks. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2010*, 1–12. <http://doi.org/10.1155/2010/870268>

Zyren, J. (2007). Overview of the 3GPP Long Term Evolution Physical Layer. *Evolution, 07*/, 2–22. <http://doi.org/10.1155/2010/870268>



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **RAMÍREZ OLEAS, ANÍBAL DANNY** con C.C: # 0927347641 autor del Trabajo de Titulación: **EVALUACIÓN DE QOS EN LA TRANSMISIÓN DE DATOS DE ALTA VELOCIDAD EN MOVILIDAD EN UNA RED LTE** previo a la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 09 de Septiembre de 2016

f. _____

Nombre: RAMÍREZ OLEAS, ANÍBAL DANNY

C.C: 0927347641

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	EVALUACIÓN DE QOS EN LA TRANSMISIÓN DE DATOS DE ALTA VELOCIDAD EN MOVILIDAD EN UNA RED LTE		
AUTOR(ES)	RAMÍREZ OLEAS, ANÍBAL DANNY		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	M. Sc. EDWIN F. PALACIOS MELÉNDEZ		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería en Telecomunicaciones		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	09 de Septiembre de 2016	No. DE PÁGINAS:	51
ÁREAS TEMÁTICAS:	Fundamentos de Comunicaciones, Comunicaciones Inalámbricas, Sistemas de Comunicaciones.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Comunicaciones Inalámbricas, LTE, VoLTE, OFDM, MIMO, DRIVE TEST		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>El presente trabajo correspondiente al componente práctico del examen complejo consiste en realizar pruebas de medición en movimiento, conocido como drive test en el sector suroeste de la ciudad de Guayaquil. Antes de las pruebas en movimiento, se realizó la descripción del estado del arte de la tecnología LTE, aunque a nivel mundial funciona en un 100%, acá en nuestro país no funciona todavía VoLTE (Voice over LTE) que en español es voz sobre LTE. Durante el desarrollo del componente práctico, se debió alquilar los equipos de drive test y así cumplir con las respectivas pruebas de campo. El drive test realizado tiene como desventaja que la velocidad del vehículo no exceda de los 40 km/h, ya que, si es mayor a lo indicado, los equipos pierden el enlace con las radios bases. Para las pruebas se consideraron ciertos parámetros necesarios que permitieron determinar la calidad de servicio en la transmisión de datos, así como también evaluamos el rendimiento de la red LTE para datos.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-4-2808802 +593-9-87380131	E-mail: wgramirez-85@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Nombre: Palacios Meléndez Edwin Fernando		
	Teléfono: +593-9-68366762		
	E-mail: edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			